

Прогнозная оценка загрязнения подземных вод при авариях на объектах хранения и транспортировки нефтепродуктов

В.Е. Савенок, Е.В. Шаматульская, А.А. Добатовкина

Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машиерова»

Несвоевременное обнаружение утечек нефти и нефтепродуктов из подземных емкостей и трубопроводов приводит не только к значительным потерям нефтепродуктов, но и загрязнению подземного пространства. В результате этого загрязнения часть нефтепродукта попадает в подземную гидросферу, загрязняя ее. Экологический же ущерб от этого загрязнения может быть даже более масштабным, чем поверхностные разливы нефтепродуктов, т.к. мероприятия по устранению подземного загрязнения нефтепродуктов проводятся только после их обнаружения.

Цель данного исследования – прогнозная оценка загрязнения подземных вод при авариях на объектах хранения и транспортировки нефтепродуктов на территории Витебской области.

Материал и методы. По условиям залегания в земной коре подземные воды делят на воды зоны аэрации (почвенные, верховодка) и воды зоны насыщения (грунтовые, межпластовые). Подземные воды являются основным источником пресного водоснабжения для хозяйственно-бытовых и питьевых нужд. Одними из наиболее потенциально опасных промышленных объектов, которые могут быть загрязнителями подземных вод являются объекты хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов. В качестве объектов исследования нами рассматривались районы транспортировки нефтепродуктов и районы расположения объектов хранения нефтепродуктов на территории Витебской области.

Результаты и их обсуждение. На основании анализа почв и грунтов районов исследования установлено, что глубина инфильтрации нефти и нефтепродуктов при подземных утечках из нефте- и нефтепродуктопроводов, а также из емкостей хранения составляет от 0,2 м до 2,5 м.

Анализ уровня залегания подземных вод в рассматриваемых районах позволяет сделать вывод, что даже при максимальной глубине инфильтрации нефти и нефтепродуктов с учетом глубины залегания объектов транспортировки хранения нефти межпластовые воды в случае подземных утечек нефти и нефтепродуктов не будут загрязнены. Вместе с тем в почвенные и грунтовые воды может попасть малая часть нефтепродуктов от 0,1 до нескольких процентов от объема утечки.

Заключение. Решение задач, связанных с прогнозированием распространения нефтепродуктов в подземной среде, приводящего к загрязнению подземных вод, является актуальным. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при прогнозной оценке масштабов нефтяного загрязнения подземных вод при подземных утечках и авариях на объектах хранения и транспортировки нефтепродуктов.

Ключевые слова: авария, вода, грунт, загрязнение, коэффициент, нефтепродукты, оценка, параметр, почва, подземные, расчет.

Forecast Assessment of Ground Water Pollution during Oil Storage and Transportation Accidents

V.E. Savenok, E.V. Shamatulskaya, A.A. Dobatovkina

Educational establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University», Vitebsk

Not timely detection of oil spills from ground tanks and pipelines results not only in considerable loss of oil products but also in ground pollution. As a result part of oil product gets into ground hydrosphere and pollutes it. The environmental damage of this pollution can be even greater than surface oil spills since clearing ground oil pollution starts only after its detection.

The aim of the work is forecast assessment of ground water pollution during oil storage and transportation accidents in Vitebsk region.

Material and methods. According to the conditions ground water is divided into aeration zone water: soil, upper and saturation zone water: soil, interlayer. Ground water is the main source of household and drinking water. One of the most potentially dangerous industries, which action can be ground water pollutants are oil storages and transportation. As the research objects oil transportation areas as well as oil storage areas in Vitebsk region were considered.

Findings and their discussion. On the basis of soil analysis of the studied areas conclusion can be made that oil and oil products infiltration depth during ground leaks from oil and oil product pipelines as well as from storage tanks is between 0,2 m and 2,5 m.

Analysis of ground water level in the considered areas makes it possible to conclude that even with maximal infiltration depth of oil and oil products and taking into account the depth of oil transportation and storage objects, interlayer water won't be polluted in

case of ground oil and oil product leakages. At the same time a small part of oil products from 0,1 to several per cent of the total leakage volume can get into ground water.

Conclusion. Solution of tasks connected with forecasting the spread of oil products in ground, causing ground water pollution is urgent. The research findings can be used in forecast assessment of the scale of ground water oil pollution during ground leakages and accidents at oil product storage and transportation objects.

Key words: accident, water, soil, pollution coefficient, oil, products, assessment, parameter ground, ground water, estimation.

В Республике Беларусь находится большое количество объектов, на которых производится хранение и использование нефти и нефтепродуктов. Кроме того, по территории страны проходят трассы магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, которые проложены в четырех технических коридорах, при этом суммарная длина всех трубопроводов в одностороннем исчислении составляет несколько тысяч километров. Возможные аварии на наземной инфраструктуре этих объектов, связанные с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов, могут наносить большой вред окружающей среде. Помимо этих аварий, реагирование на которые происходит немедленно, происходят также утечки нефти и нефтепродуктов из подземных емкостей и трубопроводов, что затрудняет их своевременное обнаружение. Несвоевременное обнаружение этих утечек приводит не только к значительным потерям нефтепродуктов, но и загрязнению подземного пространства. В результате этого загрязнения часть нефтепродукта попадает в подземную гидросферу, загрязняя ее. Экологический же ущерб от этого загрязнения может быть даже более масштабным, чем поверхностные разливы нефтепродуктов, т.к. мероприятия по ликвидации этих разливов проводятся сразу после их возникновения, а мероприятия по устранению подземного загрязнения нефтепродуктов – только после их обнаружения.

Цель данного исследования – прогнозная оценка загрязнения подземных вод при авариях на объектах хранения и транспортировки нефтепродуктов на территории Витебской области. В работе приведена общая характеристика подземных вод, необходимая для прогнозной оценки их загрязненности различными видами нефтепродуктов.

Материал и методы. По условиям залегания в земной коре подземные воды делят на воды зоны аэрации (почвенные и верховодка) и воды зоны насыщения (грунтовые и межпластовые) [1].

Почвенные воды заключены в почве и не являются напорными. Верховодка образуется на линзе водоупорных пород, распространена локально, залегает неглубоко, существует временно, обладает малым запасом воды. В условиях континентального климата умеренного пояса она появляется весной после снеготаяния, иногда осенью.

Грунтовые воды – воды первого от поверхности постоянного водоносного горизонта, на первом водоупорном слое. Поверхность грунтовых вод называется зеркалом грунтовых вод. Мощность водоносного горизонта – это расстояние по вертикали от зеркала грунтовых вод до водоупора. В водоносных слоях грунтовые воды передвигаются от мест с более высоким уровнем к местам с более низким уровнем, т.е. в соответствии с уклоном водоносного пласта. Скорость их движения прямо пропорциональна коэффициенту фильтрации водоносной породы, который зависит от водопроницаемости и определяется по справочным данным, и гидравлическому уклону подземного потока (I), и вычисляется по формуле Дарси [2]:

$$v = K \cdot J, \text{ см/с или м/сут}, \quad (1)$$

где v – скорость движения грунтовых вод (расход воды через единицу площади поперечного сечения грунта, включая площадь сечения порового пространства и скелета грунта); K – коэффициент фильтрации; J – гидравлический уклон (напорный градиент).

Схема соотношения различных типов пород представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема соотношения различных типов подземных вод [1].

Области распространения и питания грунтовых вод совпадают, поэтому мощность и водообилие их подвержены колебаниям, зависящим от изменений климатических и метеорологических условий, а их режиму и свойствам присущи зональные черты. Зональность грунтовых вод проявляется в глубине их залегания от поверхности и соответственно в их чистоте и температуре, а также химическом составе и степени их минерализации. Температура грунтовых вод в сглаженном виде повторяет годовой ход температуры воздуха, но максимумы и минимумы температуры запаздывают, и тем больше, чем глубже залегают грунтовые воды. Чистота грунтовых вод определяется глубиной их залегания от поверхности – чем глубже, тем чище. Геолого-геоморфологические условия и вещественный состав пород вносят разнообразие и обуславливают специфику грунтовых вод в пределах природных зон. В целом же грунтовые воды относительно чистые, обычно пресные. По показателям качества грунтовых вод можно определить общую загрязненность или чистоту местности и почв.

Межпластовые воды – это воды, заключенные между двумя водоупорными пластами, из которых нижний называется водоупорным ложем, а верхний – водоупорной кровлей. Они залегают глубже и поэтому чище, чем грунтовые. Области распространения и питания их не совпадают, в связи с чем режим вод меньше зависит от метеоусловий и у них более постоянный уровень. Атмосферное питание эти воды получают лишь в местах выхода водоносного пласта на поверхность. Они могут быть напорные и нена-

порные. Ненапорные воды не полностью насыщают водоносный пласт, имеют свободную поверхность и стекают как грунтовые по уклону ложа. Напорные воды залегают в вогнутых тектонических структурах, насыщают весь водоносный слой и обладают гидростатическим напором (рис. 2). Вскрытые скважинами, они могут изливаться на поверхность или даже фонтанировать. Такие воды называют артезианскими. Как и грунтовые воды, межпластовые могут иметь разный химический состав и степень минерализации, которая увеличивается с глубиной.

Естественные природные условия способствуют образованию незагрязненных подземных, и в частности грунтовых, вод, пригодных для питьевого водоснабжения. Уровень загрязненности грунтовых вод обуславливается близким расположением различных промышленных и хозяйственно-бытовых объектов и неглубоким залеганием водного пласта к поверхности.

Согласно проведенному нами анализу [2–3], на территории Витебской области представлены подземные воды антропогенных отложений. Выделяются горизонты и комплексы в надморенных, межморенных и подморенных отложениях и разделяющие их слабопроницаемые толщи моренных отложений. Водоносный горизонт грунтовых вод приурочен к разновозрастным отложениям антропогена. Водовмещающими являются флювиогляциальные отложения поозерского, сожского и днепровского оледенений, верхне-четвертичные и современные аллювиальные и озерно-болотные образования. Мощность горизонта изменяется от 0,1 до 30 м. Глубина залегания грунтовых вод в среднем не более 5 м.

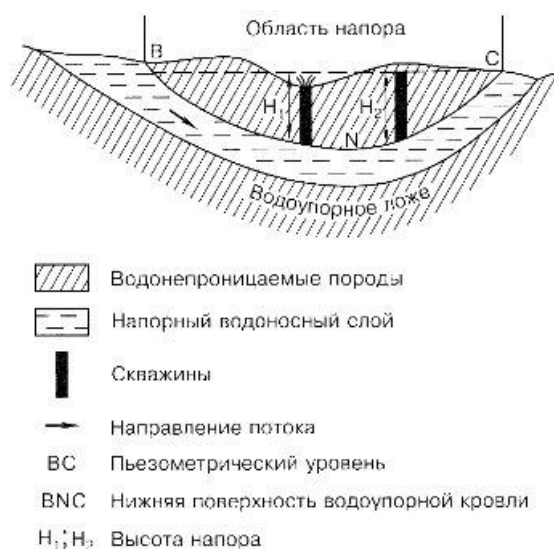


Рис. 2. Схема строения артезианского бассейна [1].

Водоносные комплексы антропогена, содержащие напорные воды на территории Витебской области: основной сожско-поозерский и имеющие малое распространение днепровско-сожский и березинско-днепровский.

Сожско-поозерский водоносный комплекс имеет повсеместное распространение. Перекрывается водоупорными моренными отложениями поозерского ледника, подстилается преимущественно моренными образованиями сожского ледника. Водовмещающие породы – пески различного гранулометрического состава с преобладанием мелкозернистых, иногда песчано-гравийные породы, с линзами и прослоями супесей, суглинков и глин.

Водоносный комплекс является первым от поверхности напорным комплексом. Максимальные абсолютные отметки уровня приурочены к водоразделам, а минимальные – к долинам рек и понижениям современного рельефа. Водобильность достаточно высокая, дебиты изменяются от 0,13 до 6,94 л/с при понижении уровня соответственно на 10,1 и 7,0 м. Удельные дебиты при этом составляют 0,01–0,99 л/с. Коэффициенты фильтрации – 0,16–22,1 м/сут (преобладающие величины 3–10 м/сут), а коэффициенты водопроводимости – 4–1050 м²/сут (наиболее характерные – 25–100 м²/сут) [4].

Днепровско-сожский водоносный комплекс. Мощность водовмещающих отложений в среднем 15–30 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 1–6 м (в долинах рек) и до 30–35 м (на водоразделах). Коэффициент фильтрации пород изменяется от 0,2 до 50 м/сут при средних значениях 5–15 м/сут. Удельные дебиты скважин составляют 0,01–9,5 л/с.

Березинско-днепровский водоносный комплекс. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от 2,5 до 78 м. Гидростатический напор изменяется от 1 до 134 м. Коэффициент фильтрации варьируется от 0,2 до 26 м/сут, а удельный дебит скважин – от тысячных долей до 4,3 л/с.

Моренные отложения, разделяющие водоносные комплексы антропогена, отличаются невыдержанностью по мощности и по литологическому составу и представлены суглинками, супесями, часто с валунами, линзами и прослоями песков. Мощность морен составляет обычно 10–30 м, а в доледниковых долинах и экзарационных депрессиях увеличивается до 50–60 и даже 100–120 м. В долинах рек моренные отложения часто размыты и на участках фациального заме-

щения суглинков и супесей песками образуются «гидрогеологические окна».

Одними из наиболее потенциально опасных промышленных объектов, которые могут быть загрязнителями подземных вод, являются объекты хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов.

В качестве объектов исследования нами рассматривались районы транспортировки унитарным производственным предприятием (УП) «Запад-Транснефтепродукт» нефтепродуктов по территории Витебской области (Сенненский, Бешенковичский, Оршанский, Полоцкий, Ушачский, Миорский, Браславский районы), а также районы расположения объектов хранения нефтепродуктов РУП «Белоруснефть-Витебскоблнефтепродукт» в городах Витебске, Новополоцке и Полоцке.

При проведении прогнозной оценки загрязненности подземных вод в районе рассматриваемых объектов нами принимались значения коэффициентов фильтрации нефтепродуктов, определенные для различных типов почв при среднем значении коэффициента пористости в [2] по формуле

$$K=b \cdot C/v, \text{ м/сут}, \quad (2)$$

где v – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; $b=10^{-6}$ – коэффициент размерности (при определении коэффициента фильтрации в м/сут); C – коэффициент проницаемости, м².

В работе частично использовались данные геологических исследований по рассматриваемым районам, представленные доктором геолого-минералогических наук А.Н. Галкиным (ВГУ имени П.М. Машерова).

Результаты и их обсуждение. Трасса нефтепродуктопровода УП «Запад-Транснефтепродукт», проходящая по территории Витебской области, по инженерно-геологическому районированию относится к двум регионам: западная часть – Белорусский массив и его склоны, восточная часть – западная часть Московской впадины (Оршанская впадина), в пределах которых выделяются подпровинции: эрозионно-аккумулятивная долина р. Западная Двина и ее притоков и водораздельные равнины в пределах распространения валдайского оледенения. Они отличаются набором геологических формаций, климатом, особенностями гидрогеологической структуры бассейна подземных вод. В территориальном отношении представляют собой крупные регионы, охватывающие различные морфогенетические типы рельефа и условия распространения грунтовых вод, формирования поверхностного и подземного стока. Районы размещения объектов

РУП «Белоруснефть-Витебскоблнефтепродукт» в городах Витебске, Новополоцке и Полоцке по инженерно-геологическому районированию относятся к Белорусскому массиву и его склонам.

Как известно, в процессе эксплуатации нефтепровода происходит осадка трубы из-за уплотнения грунта, а также продольно-поперечного перемещения, что совместно с механическими колебаниями создает зоны неплотного прилегания грунта к поверхности трубопровода. Поэтому, как свидетельствует практика, в случае возникновения малой утечки нефть передвигается в пространстве с наименьшим сопротивлением движению, как правило, вдоль траншеи в сторону уклона [5–6]. Для оценки фактических потерь нефти от инфильтрации, после сбора разлитой нефти проводятся работы по определению средней глубины загрязнения грунта по площади растекания и работы по отбору проб нефтенасыщенного грунта. Для более точных расчетов необходимо учитывать изменение физических свойств грунта по глубине.

На основании анализа почв и грунтов районов исследования установлено, что глубина инфильтрации нефти и нефтепродуктов при подземных утечках из нефте- и нефтепродуктопроводов, а также из емкостей хранения составляет от 0,2 м до 2,5 м.

Анализ уровня залегания подземных вод в рассматриваемых районах позволяет сделать вывод, что даже при максимальной глубине инфильтрации нефти и нефтепродуктов, с учетом глубины залегания объектов транспортировки хранения нефти, межпластовые воды в случае подземных утечек нефти и нефтепродуктов не будут загрязнены. Вместе с тем в почвенные и грунтовые воды может попасть малая часть нефтепродуктов от 0,1 (Сенненский район) до 10 процентов (Полоцкий и Миорский районы) от объема утечки. При несвоевременном обнаружении подземные утечки могут быть большими, тогда величина экологического ущерба может быть значительной. При утечках больших объемов нефтепродуктов на начальной стадии происходит преимущественно вертикальная фильтрация до тех пор, пока нефтепродукты не достигнут уровня грунтовых вод, где и формируется зона «свободных нефтепродуктов». Дальнейшее движение гравитационно-подвижных углеводородов происходит вниз по уклону зеркала грунтовых вод к области разгрузки, в нашем случае к реке Западная Двина.

Обвалование емкостей хранения на стационарных площадках хранения нефтепродуктов на объектах РУП «Белоруснефть-Витебскоблнефтепродукт»

препятствует горизонтальному распространению нефтепродуктов в случае наземной аварии, однако не снижает риска загрязнения подземных вод в случае подземных утечек нефтепродуктов и их вертикальной фильтрации. В качестве дополнительной меры защиты от утечек необходимо под подземной частью емкостей хранения увеличивать толщину защитного слоя из изоляционных материалов.

Целесообразным также, на наш взгляд, является постоянное рекогносцировочное экологическое обследование районов, по которым проходят подземные нефтепродуктопроводы и где находятся заглубленные емкости хранения нефтепродуктов, включающее бурение параметрических скважин и химический анализ грунтов (почв) и подземных вод. Результаты обследований могут быть также использованы при создании экологических экспертных систем (ЭЭС), позволяющих идентифицировать и количественно оценить масштабы загрязнения геологической среды нефтепродуктами [7].

Заключение. Подземные воды – основной источник пресного водоснабжения для хозяйственно-бытовых и питьевых нужд. Промышленные объекты, являющиеся потенциальными загрязнителями подземных вод, должны строго контролироваться. Таким образом, своевременное обнаружение утечек нефти и нефтепродуктов на объектах-потенциальных загрязнителях подземных вод позволит снизить экологический ущерб, однако не исключить его полностью. Поэтому решение задач, связанных с прогнозированием распространения нефтепродуктов в подземной среде, приводящего к загрязнению подземных вод, является актуальным. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при прогнозной оценке масштабов нефтяного загрязнения подземных вод при подземных утечках и авариях на объектах хранения и транспортировки нефтепродуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любушкина, С.Г. Общее землеведение: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. «География» / С.Г. Любушкина, К.В. Пашканг, А.В. Чернов; под ред. А.В. Чернова. – М.: Просвещение, 2004. – 288 с.
2. Савенок, В.Е. Определение нефтепроницаемости почв и грунтов расчетным методом / В.Е. Савенок, Е.В. Шаматульская // Весн. Віцебск. дзярж. ун-та. – 2014. – № 1(79). – С. 44–49.
3. Минаева, О.Н. Оценка почв районов водосбора / О.Н. Минаева, В.Е. Савенок // Проблемы устойчивого развития регионов Республика Беларусь и сопредельных стран: сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-практ. конф., Могилев, 27–29 марта 2012 г. / МГУ им. А.А. Кулешова. – Могилев, 2012. – Ч. 1. – С. 77–80.
4. Трацевская, Е.Ю. Закономерности формирования геологических опасностей Беларуси / Е.Ю. Трацевская. – Гомель: УО «ГТУ им. Ф. Скоринны», 2007. – 119 с.

5. Оразбаев, Б.Б. Гидродинамические модели для расчета растекания нефти и нефтепродуктов / Б.Б. Оразбаев, А.К. Кенжегалиев, С.Б. Гайсина // Нефть и газ. – 2007. – № 4. – С. 98–108.
6. Карабалин, У.С. Исследование и создание математической модели трансформации загрязненных участков / У.С. Карабалин, Б.Б. Оразбаев, Ф.Т. Сериков, С.Д. Исмагулова // Нефть и газ. – 2009. – № 3. – С. 90–95.
7. Проблемы идентификации и количественной оценки загрязнения геологической среды нефтепродуктами [Электронный ресурс]: презентация // А.П. Хаустов [и др.]. – РУДН (Москва), РГГУ (Москва), Институт природопользования НАН Беларуси (Минск), Институт геологических наук НАН Украины (Киев). – 2014. – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/540283/>. – Дата доступа: 20.10.2014.
3. Minayeva O.N., Savenok V.E. *Problemi ustoichivogo razvitiya regionov RB i sopredelnikh stran: sbornik nauchn. statei 2i Mezhd. NPK, Mogilev 27–29 marta 2012 g., MGU im. A.A. Kuleshova* [Issues of Stable Development of RB Regions and Borderline Countries: Collection of Scientific Articles of the 2nd International Scientific and Practical Conference, Mogilev, March 27–29 2012], Mogilev, 2012. Part 1, pp. 77–80.
4. Tratsvskaya E.Yu. *Zakonomernosti formirovaniya geologicheskikh opasnostei Belarusi* [Laws of Formation of Geological Hazards in Belarus], Gomel: UO «GGU im. F. Skorini», 2007, 119 p.
5. Orazbayev B.B., Kenzhagaliyev A.K., Gaisina S.B. *Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Neft i Gaz»* [Scientific and Technological Journal «Oil and Gas»], 2007, 4, pp. 98–108.
6. Karabalin U.S., Orazbayev B.B., Serikov F.T., Ismagulova S.D. *Nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Neft i Gaz»* [Scientific and Technological Journal «Oil and Gas»], 2009, 3, pp. 90–95.
7. Khaustov A.P. *Problemi identifikatsii i kolichestvennoi otsenki zagriazneniya geologicheskoi sredi nefteproduktami* [Issues of Identification and Quantitative Assessment of Oil Pollution of Geological Environment], 2014, <http://www.myshared.ru/slide/540283/>.

REFERENCES

1. Liubushkina S.G., Pashkang K.V., Chernov A.V. *Obshcheye zemlevedeniye: Ucheb. posobiye dlia studentov vuzov, obuchayushchikhsia po spets. «Geografiya»* [General Land Studies: Manual for Geography Students], M.: Prosveshcheniye, 2004, 288 p.
2. Savenok V.E., Shamatulskaya E.V. *Vestnik VGU im. P.M. Masherova* [Vitebsk State P.M. Masherov University Newsletter], 1(79), Vitebsk, 2014, pp. 44–49.

Поступила в редакцию 04.11.2014

Адрес для корреспонденции: e-mail: V.Savenok@mail.ru – Савенок В.Е.