

---

---

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ  
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

---

---

УДК 502.7(470.51)(045)

**КЛАССИФИКАЦИЯ ОЧАГОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА  
С РАЗВИТОЙ НЕФТЕДОБЫЧЕЙ  
(НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)**

© 2016 г. В. И. Стурман

ФГБОУ ВПО “Государственная полярная академия”,  
ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, 191119 Россия. E-mail: kaf-opp@gra-spb.ru.

Поступила в редакцию 12.01.2015 г.  
После исправления 12.03.2015 г.

Охарактеризованы характер распространения и состав загрязнения подземных вод в Удмуртии от промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых источников. Разработаны классификация и карта очагов загрязнения подземных вод.

**Ключевые слова:** *подземные воды, загрязнение, Удмуртия.*

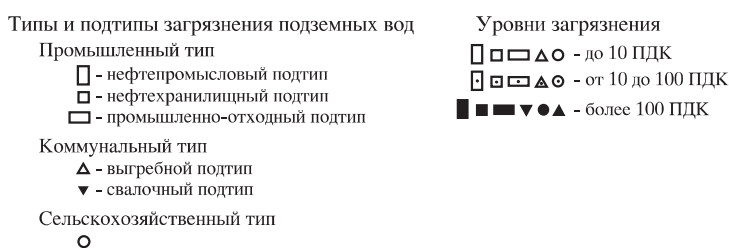
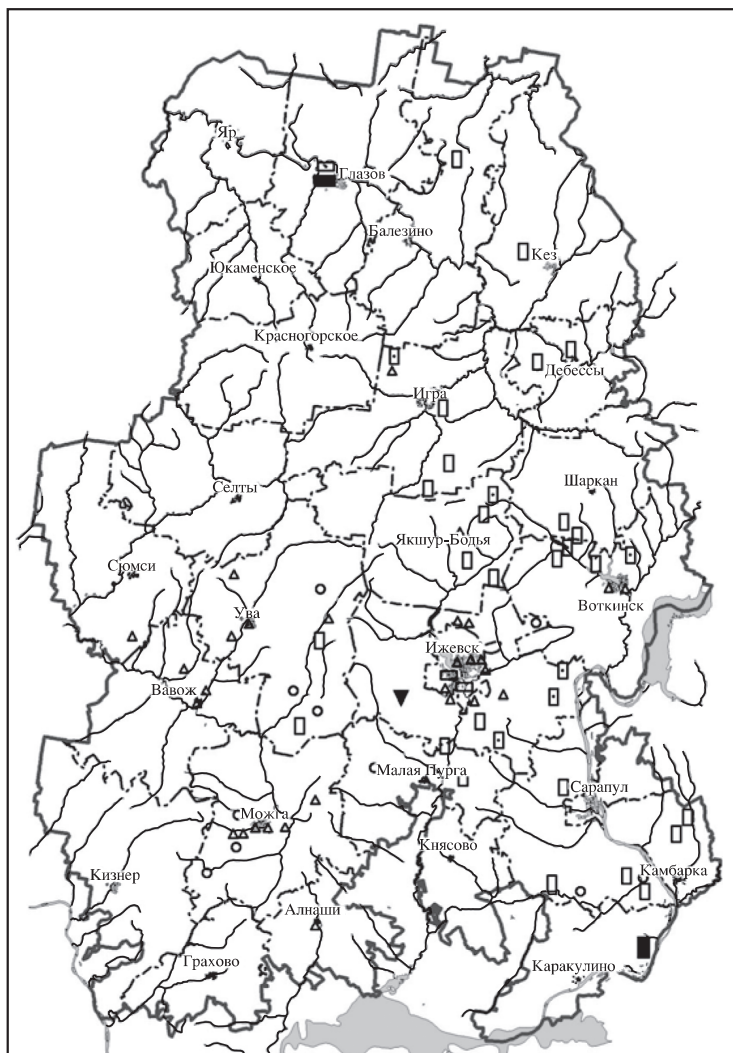
Научные классификации природных и природно-техногенных явлений, в том числе негативных, улучшают понимание их причин и облегчают разработку адекватных способов защиты. В обобщающей работе [3] загрязнение подземных вод по происхождению подразделяется на промышленное, сельскохозяйственное и коммунально-бытовое. Результаты многолетних исследований и инженерно-экологических изысканий в Удмуртии, регионе достаточно типичном для России по природным условиям и структуре экономики, позволяют существенно детализировать эту классификацию. Цель данной работы – разработка классификации применительно к загрязнению подземных вод от различных источников, представленных в экономически развитом регионе с разнообразными отраслями.

По состоянию на 2012 г. в Удмуртии официально зафиксировано [7] 96 очагов загрязнения подземных вод, из них 54 – на одиночных и групповых водозаборах, 42 – выявлены по наблюдательным скважинам и родникам на территориях техногенных объектов, причем 40 из них относятся к промышленному типу загрязнения и по одному – к коммунальному и сельскохозяйственному типам [7]. Преобладание промышленного типа обуславливает необходимость его подразделения на подтипы и разновидности, охарактеризованные ниже.

Расположение очагов загрязнения подземных вод с подразделением их по типам (подтипам) и степени выраженности показано на рисунке. Фактическое количество очагов загрязнения может многократно превышать официально зафиксированное, поскольку некоторые их разновидности незначительны по размерам и выявляются лишь при детальном исследовании. Загрязнению подземных вод также свойственна изменчивость во времени, в силу чего отдельные очаги могут периодически исчезать и появляться.

**Промышленный тип загрязнения подземных вод** в Удмуртии в целом преобладает и представлен преимущественно нефтепромысловым подтипом. Менее распространены подтипы, приуроченные к местам хранения нефтепродуктов и различных отходов (нефтехранилищный и промышленно-отходный), утечками из коммуникаций. Загрязнения подземных вод, связанные с основными технологическими процессами обрабатывающих производств (машиностроения, промышленности строительных материалов, лесной, легкой и пищевой отраслей), в Удмуртии неизвестны.

**Нефтепромысловый подтип загрязнения подземных вод.** По материалам мониторинга по состоянию на 2010 г. при наличии 73 разрабатываемых месторождений нефти было выявлено 39 участков загрязнения подземных вод на 26



Схематическая карта очагов загрязнения подземных вод Удмуртии.

месторождениях [6]. Различаются следующие разновидности нефтепромыслового загрязнения подземных вод.

*Шламово-амбарная разновидность* встречается наиболее часто. Источники загрязнения – неликвидированные и не имеющие гидроизоляции земляные амбары с захороненными в них буровыми отходами (буровой шлам, остатки буровых растворов и т.п.). Поскольку захоронение в неизолированных амбарах практиковалось вплоть до 1990-х гг., есть основания предполагать их

наличие на всех месторождениях, где в те годы бурились разведочные или эксплуатационные скважины. Участки загрязнения, связанные с захоронением буровых отходов, по площади не превышают сотен квадратных метров и выявляются лишь при изысканиях под новые объекты на тех же площадках.

Очаги загрязнения данной разновидности приурочены к обводненным разностям четвертичных отложений и, иногда, первым от поверхности горизонтам дочетвертичных (песчаники и карбо-

натные породы в составе средне- и верхнепермских красноцветов). Превышения гигиенических стандартов по хлоридам, сульфатам и общей минерализации могут достигать до 5–10 раз. Дополнительный приток загрязняющих веществ отсутствует, и с течением времени (десятки лет) за счет воздействия грунтового потока происходит размывание очагов загрязнения, с увеличением их размеров и снижением концентраций.

*Трубопроводная разновидность* связана с утечками из трубопроводов, главным образом напорных водоводов минерализованной воды систем поддержания пластового давления. Это явление развивается в поздний период разработки месторождений, по мере износа сети промышленных коммуникаций. Износу трубопроводов и росту их аварийности способствует постепенное повышение агрессивности транспортируемой жидкости вследствие сероводородного загрязнения пластовых вод. По приуроченности к грунтовым водам, уровням и составу загрязнения она сходна с предыдущей разновидностью, отличаясь изменчивостью загрязнения во времени в зависимости от состояния коммуникаций.

*Промышленное загрязнение “снизу”* – относительно распространенная (в 2012 г. – 13 очагов загрязнения из 39) и наиболее опасная разновидность загрязнения. Неизбежная при разработке нефтяных месторождений активизация циркуляции подземных вод приводит к практически повсеместному повышению в напорных горизонтах пресных вод общей минерализации и концентраций хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция и магния, обычно в пределах ПДК. За счет Са и Mg повышаются жесткость и значения pH. Поэтому очаги загрязнения (выше ПДК, в т.ч. многократно), связанные с неисправными скважинами, накладываются на общий повышенный фон.

Ведущий фактор формирования загрязнения пресных подземных вод – межпластовые перетоки по затрубному пространству неисправных скважин. Известно [1], что при фильтрации соленых вод, в отличие от пресных, не происходит разбухания глинистых минералов. Интенсивность фильтрации соленых вод с течением времени увеличивается, вследствие чего данная разновидность загрязнения развивается как самовозбуждающийся процесс. Фактором, способствующим загрязнению “снизу”, может быть также избыточная закачка минерализованной воды в систему поддержания пластового давления в целях интенсификации нефтедобычи. На крупнейших месторождениях в республиках Татарстан и Башкортостан под воздействием указанных причин к

началу 1990-х гг. сформировались очаги загрязнения площадью до тысяч квадратных километров, причем осолонению подвергалась вся зона активного водообмена и даже отчасти поверхностные воды [1, 4]. В Удмуртии подобное, хотя и в значительно меньших масштабах (с площадью очагов загрязнения порядка квадратных километров), происходило в 1980–1990-х гг., когда отмечался постепенный рост содержания нефтепродуктов [5]: до 150 раз выше ПДК на Мишкинском месторождении (в 1998 г.), хлоридов до 83.6 раз выше ПДК на Вятской площади Арланского месторождения и общей минерализации до 51.2 раз выше ПДК там же в 2000 г. В связи с подтягиванием глубинных вод возрастают также концентрации йода, брома, бора.

В период спада добычи в 1990-х гг. особенно негативно сказались последствия практиковавшегося в 1970–1980-е гг. ввода в эксплуатацию скважин, не обеспеченных дорогами с твердым покрытием. Грунтовые дороги на пересечениях с логами и на склоновых участках быстро размывались и становились непроезжими, вследствие чего скважины (сотни только в Удмуртии) длительное время не обслуживались и выходили из строя. Это создавало предпосылки для развития в недрах неконтролируемых процессов, включая межпластовые перетоки, что в сочетании с сероводородным заражением пластовых вод влекло за собой ускоренную коррозию и многочисленные порывы трубопроводов.

В настоящее время, после того как на большинстве месторождений были выполнены работы по ремонту трубопроводов и скважин, ликвидации бездействующих скважин, уровни и площади загрязнения подземных вод значительно сократились. Наибольшая кратность превышения ПДК в 2010 г. составила по нефтепродуктам 23.6 раз; по хлоридам 12.8 раз; по общей минерализации 7.4 раза. В большинстве очагов загрязнения кратность превышения ПДК находится в пределах 1–3 раз [6]. Однако разрушение цементного камня в затрубном пространстве скважин под воздействием агрессивных глубинных вод происходит постоянно, и его сохранность не превышает 50 лет при самых благоприятных условиях [9]. Поэтому улучшение ситуации с состоянием подземных вод, достигнутое в период благоприятной ценовой конъюнктуры, не следует рассматривать как необратимое.

*Резервуарная разновидность* – относительно редкая разновидность нефтепромыслового подтипа загрязнения подземных вод (и пород), связанная с локальными утечками из неисправных

объектов хранения и переработки нефти и водонефтегазовой эмульсии на пунктах сбора, установках подготовки нефти и т.п. К характерным особенностям относятся поверхностный характер распространения при высоких (до десятков раз выше ПДК) концентрациях нефтепродуктов, хлоридов, железа.

**Нефтехранилищный подтип загрязнения подземных вод** приурочен к объектам хранения нефтепродуктов на площадках промышленных предприятий. От загрязнения, связанного с объектами хранения и подготовки нефти на нефтепромыслах, отличается отсутствием хлоридов, может проявляться в первом от поверхности горизонте.

Пример этого подтипа загрязнения – бывший Подшипниковый завод в г. Ижевске, построенный в 1950-х гг. в непосредственной близости от русла р. Карлутка. В период работы завода (1960–2000-е гг.) ежегодно использовалось примерно 70 т минерального масла, которое хранилось в подземных емкостях, подвергавшихся коррозии. Время начала утечек неизвестно, но их суммарная величина оценивается на уровне 1000–1200 т. В 1990-е гг. было выявлено сильное загрязнение нефтепродуктами воды р. Карлутка (до 6.5 мг/дм<sup>3</sup>, что в 130 раз выше ПДК). На крутом склоне долины р. Карлутка непосредственно ниже заводской территории при обследованиях фиксировались выходы масла на поверхность. При реконструкции корпусов завода под торгово-офисный центр было выполнено удаление загрязненного грунта, а на участках его глубокого залегания пробурено пять скважин-колодцев для сбора и откачки масла в свободной форме. Откачка была начата в 2005 г. и поначалу достигала более 1 т в месяц, в дальнейшем приток значительно уменьшился, но до конца пока не прекратился.

Согласно опубликованным данным [6], в настоящее время загрязнение данного подтипа устанавливается на территории мазутохозяйства ТЭЦ-2 г. Ижевска (содержание нефтепродуктов в грунтовых водах до 9.9 раз выше ПДК). Однако имеются основания полагать, что фактически подобные явления распространены значительно шире. В Удмуртии контроль подземных вод на предприятиях обрабатывающих отраслей промышленности практически отсутствует. Поэтому об их загрязнении нефтепродуктами становится известно либо при исключительных по масштабам проявлениях (как в случае Подшипникового завода), либо при инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканиях под проекты строительства, реконструкции или репрофилирования. Однако в рамках действующей норма-

тивной базы, при отсутствии системы выявления и учета объектов накопленного экологического ущерба, это создает проблемы при согласовании проектов, в том числе направленных на решение возникших ранее проблем.

**Промышленно-отходный подтип загрязнения подземных вод** связан с выносом загрязняющих веществ из шлаков, шламов “хвостов обогащения” и других подобных отходов, размещаемых на промплощадках и поблизости от них, либо использованных для отсыпки площадок в пониженных местах; приурочен к грунтовым водам. Состав загрязнения обнаруживает четкую зависимость от вида размещенных отходов, но в целом преобладают металлы. Уровни загрязнения могут быть очень высокими, до тысяч раз выше природного фона и ПДК [2], в частности для объектов цветной и черной металлургии. В Удмуртии эти отрасли представлены ОАО “Чепецкий механический завод” (г. Глазов) и ОАО “Ижсталь” (г. Ижевск).

К хвостохранилищу ОАО “Чепецкий механический завод” приурочен очаг загрязнения подземных вод современного аллювиального горизонта (пойма р. Чепца) с наибольшими для Удмуртии превышениями ПДК: до 807 раз по Fe, до 285 раз по Ni, до 236 раз по нитратам, до 45 раз по Na, до 35 раз по Mo, до 30 раз по Li и др. [6]. Меньшие, но тоже очень высокие значения концентраций загрязняющих веществ отмечаются на полигоне захоронения жидких промышленных отходов ОАО “Чепецкий механический завод”.

В Ижевске наиболее опасный очаг загрязнения подземных вод связан с шлакоотвалом ОАО “Ижсталь”. Более 200 лет, с 1760 по 1980-е г. сталеплавильный шлак складировался вблизи завода, в залив водохранилища на р. Иж. Непосредственный контакт шлака с акваторией имеет место и в настоящее время.

Выполненное в 2006 г. исследование [8], не утратившее пока актуальности, показало, что понижения поверхности шлакоотвала заняты водоемами с сильно щелочной (pH 10–11 и более) прозрачной водой с голубоватым оттенком, без водной растительности и других видимых признаков жизни. Щелочные компоненты металлургических шлаков (CaO, MgO) создают в грунтовых водах геохимическую обстановку, при которой обеспечивается незначительная подвижность Fe и Mn, но высокая подвижность хрома в токсичной шестивалентной форме. Хром, будучи одной из легирующих добавок, также входит в

состав шлаков, его выщелачивание формирует концентрации до  $0.677 \text{ мг/дм}^3$  (в 34 раза выше ПДК для рыбохозяйственных водоемов). Площадь залегания шлаков достигает 120 га, мощность – до 5 м, причем большая часть – ниже уровня грунтовых вод.

**Коммунальный тип загрязнения подземных вод** связан с миграцией продуктов разложения отходов жизнедеятельности и твердых бытовых отходов (выгребной и свалочный подтипы). То и другое свойственно неблагополучным в санитарно-гигиеническом отношении поселениям.

**Выгребной подтип.** При отсутствии канализации в неблагоустроенных сельских населенных пунктах и районах частной застройки в городах, на садово-огородных массивах отходы разлагаются на местах их размещения (в выгребях), что создает предпосылки для миграции подвижных компонентов, главным образом соединений азота, как в грунтовых водах, так и в нижележащих горизонтах. В Удмуртии по состоянию на 2012 г. выявлено 29 очагов загрязнения подземных вод данного типа на водозаборах ряда населенных пунктов и 15 очагов на водозаборах садово-огородных массивов и предприятий [7]. Фактически число очагов загрязнения выгребного подтипа значительно больше, так как при опробовании колодцев и родников в населенных пунктах при инженерно-экологических изысканиях превышения природного фона, а нередко и ПДК ( $45 \text{ мг/дм}^3$ ) по нитратам наблюдаются практически повсеместно. Кратность превышения ПДК небольшая, обычно до 3, максимальное значение – 4.8 ПДК (с. Алнаши) [6]. В родниках и колодцах населенных пунктов практически не встречаются концентрации нитратов ниже  $20 \text{ мг/дм}^3$ , тогда как фоновые концентрации, наблюдаемые в лесных родниках, обычно не превышают 1, а нередко и  $0.1 \text{ мг/дм}^3$ .

**Свалочный подтип** загрязнения подземных вод формируется при фильтрации впитывающихся атмосферных осадков и грунтовых вод через скопления твердых бытовых отходов. В условиях превышения количества атмосферных осадков над испарением (гидротермический коэффициент выше 1) происходит образование свалочного фильтрата – раствора коричневого цвета с резким неприятным запахом, содержащего органические загрязнения и металлы в количествах до десятков и сотен раз выше ПДК. В Удмуртии официально зафиксирован [6, 7] только один очаг загрязнения подземных вод, связанный с полигоном ТБО ООО “Чистый город” (полигон “Нылгинский”); состав загрязнения разнообразный, концентрации вы-

сокие (железо до 102 ПДК, фенолы до 52 ПДК, марганец до 19 ПДК) [6]. Поскольку мониторинг объектов размещения ТБО в Удмуртии практически не ведется, есть основания полагать, что реальное количество очагов загрязнения данного подтипа значительно больше.

**Сельскохозяйственный тип загрязнения подземных вод** связан с воздействием загрязненных органическими веществами стоков от животноводческих ферм. Зафиксировано 12 очагов загрязнения [6]. В составе загрязнения представлены нитраты (1–2 ПДК), иногда отмечаются также несоответствия гигиеническим стандартам по жесткости, вследствие подтягивания глубинных вод при избыточном водоотборе. Вблизи мясо- и молокоперерабатывающих предприятий (п.г.т. Ува) и ликвидированного склада минеральных удобрений (п. Уром) концентрации нитратов выше, до 4 ПДК и более. Водоснабжение сельских населенных пунктов чаще всего базируется на использовании скважин, пробуренных в прошлые десятилетия, без установления и обустройства зон санитарной охраны, в том числе на животноводческих фермах или поблизости от них. Часть скважин числится в категории “потерянных”. Поэтому есть основания полагать, что фактическое количество скважин с загрязнением сельскохозяйственного типа также существенно больше.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение результатов многолетних исследований и изысканий на территории Удмуртии позволяет подразделить промышленный, сельскохозяйственный и коммунально-бытовой типы загрязнения подземных вод на ряд подтипов и разновидностей.

Загрязнение от промышленных объектов наиболее разнообразно по составу, полностью зависящему от особенностей конкретных источников. Среди последних господствуют добыча, транспортировка, хранение и первичная переработка сырья и отходов. Воздействие от более технологичных отраслей по крайней мере на территории Удмуртии не выявлено. Промышленный тип загрязнения подземных вод представлен нефтепромышленным, нефтехранилищным и промышленно-отходным подтипами, при этом нефтепромышленный подтип включает промышленное загрязнение “снизу”, а также шламово-амбарную, трубопроводную и резервуарную разновидности.

Коммунально-бытовой тип загрязнения включает выгребной и свалочный подтипы, а сель-

скохозийственный тип загрязнения связан с воздействием стоков от животноводческих ферм. К общим чертам коммунально-бытового и сельскохозяйственного типов относится значительное участие продуктов разложения органических соединений, и прежде всего нитратов.

К наиболее опасным типам, подтипам и разновидностям загрязнения подземных вод относятся промышленное загрязнение “снизу”, промышленно-отходное и свалочное.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Формирование подземных вод Башкирского Предуралья в условия техногенного влияния. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. 120 с.
2. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
3. Геохимия подземных вод: теоретические, прикладные и экологические аспекты / Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2004. 676 с.
4. Зеленая книга Республики Татарстан / Под ред. Н.П. Торсуева. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1993. 421 с.
5. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2000 г.: Государственный доклад. Ижевск, 2001. 196 с.
6. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2010 г.: Государственный доклад. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011. 238 с.
7. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2012 г.: Государственный доклад. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2013. 246 с.
8. *Стурман В.И., Габдуллин В.М., Гагарина О.В.* Проблема загрязнения Ижевского водохранилища и геохимический подход к ее решению // Экология урбанизированных территорий. 2007. № 3. С. 75–79.
9. *Хаустов А.П., Редина М.М.* Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. 551 с.

#### REFERENCES

1. *Abdrakhmanov, R.F., Popov, V.G.* *Formirovanie podzemnykh vod Bashkirskogo Predural'ya v usloviyakh tehnogennogo vliyaniya* [Groundwater formation in Bashkiria CisUrals region under the technogenic impact]. Ufa, Bashkiria Research Center, Ural Division, USSR Academy of Sciences, 1990. 120 p. (in Russian).
2. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Environmental geochemistry]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 335 p. (in Russian).
3. *Geokhimiya podzemnykh vod: teoreticheskie i prikladnye aspekty* [Geochemistry of groundwater: theoretical and applied aspects]. Laverov, N.P., Ed., Moscow, Nauka Publ., 2004, 676 p. (in Russian).
4. *Zelenaya kniga Respubliki Tatarstan* [Green book of Tatarstan Republic]. Torsuev, N.P., Ed. Kazan, KazGU, 1993, 421 p. (in Russian).
5. *O sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Udmurtskoi Respubliki v 2000 g. Gosudarstvennyi doklad.* [About environmental situation in the Udmurtia Republic in the year of 2000. State report]. Izhevsk, 2001. 196 p. (in Russian).
6. *O sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Udmurtskoi Respubliki v 2010 g. Gosudarstvennyi doklad.* [About environmental situation in the Udmurtia Republic in the year of 2010. State report]. Izhevsk, Gos. Tech. Univ., 2011. 238 p. (in Russian).
7. *O sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Udmurtskoi Respubliki v 2012 g. Gosudarstvennyi doklad.* [About environmental situation in the Udmurtia Republic in the year of 2012. State report]. Izhevsk, Gos. Tech. Univ., 2013. 246 p. (in Russian).
8. *Sturman, V.I., Gabdullin, V.M., Gagarina, O.V.* *Problema zagryazneniya Izhevskogo vodokhranilishcha i geokhimicheskii podkhod k ee resheniyu.* [The problem of Izhevsk water reservoir pollution and the geochemical approach to its solution]. *Ecologiya urbanizirovannykh territorii*, 2007, no. 3, pp. 75–79 (in Russian).
9. *Haustov, A.P., Redina, M.M.* *Okhrana okruzhayushchei sredy pri dobyche nefi* [Environment protection in oil industry]. Moscow, Delo Publ. 2006. 551 p. (in Russian).

## CLASSIFICATION OF GROUNDWATER POLLUTION SOURCES IN THE OIL-INDUSTRY REGION (BY THE EXAMPLE OF UDMURTIA REPUBLIC)

V.I. Sturman

*FGBOU VPO "State Polar Academy", ul. Voronezhskaya 79, St. Petersburg, 191119 Russia.  
E-mail: kaf-opp@gpa-spb.ru*

Summarizing the long-term monitoring data and the results of environmental site investigations in Udmurtia permits the author to subdivide industrial, agricultural and local domestic types of groundwater contamination into several subtypes and varieties.

Industrial groundwater pollution is most very diverse in its chemical composition, and it depends totally on the features of particular sources. Predominant industrial sources of contamination include oil output, transportation and storage, primary processing of raw materials and waste deposition. Manufacturing industry contamination is not revealed. The industrial type of groundwater contamination is represented by oil-field, oil-product reservoir and waste deposition subtypes. The oil-field subtype includes contamination caused by the influx of mineralized deep water, drilling waste, pipelines and oil-reservoir. Contamination by influx of mineralized deep water occurs in cases of defective oil wells where cement between the pipe and the well wall is broken. Drilling waste contamination takes place at burial places of chink drilling waste without waterproofing that occurred until the end of 1980s. Pipeline and oil-reservoir contamination takes place upon leakage from faulty pipelines and tanks.

Domestic type of contamination is found in ill-equipped settlements and includes cesspool and dump subtypes. Agricultural type of contamination is related to the influence of drains from cattle-breeding farms. Considerable participation of products of organic substance decomposition, nitrates, above all, is a common feature of domestic and agricultural types.

The oil-field contamination caused by the influx of mineralized deep water, waste deposition and dump appear to be the most hazardous kinds of groundwater contamination. The highest levels of contamination are reached upon the oil-field contamination by influx of mineralized deep water (up to 150 times above the maximum permissible concentration for oil products and up to 83,6 times above maximum permissible concentration for chlorides). In case of industrial waste contamination, its level exceeded MPA up to 807 times for Fe, up to 285 times for Ni, up to 236 times for nitrates, up to 45 times for Na, up to 35 times for Mo, and up to 30 times for Li. The quantitative characteristics of each of type and subtype, and also the map of contaminated sites of underground waters are presented.

**Keywords:** *groundwater, contamination, Udmurtia.*