

УДК 504.61:556.388

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ КОНТАМИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Ю.К. Иванов*, А.А. Ястребов*, В.А. Бешенцев**

**Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7
E-mail: ivanovuk@igg.uran.ru*

***ГУ «Недра Ямала»
629008, г. Салехард, ул. Матросова, 29*

Поступила в редакцию 08.12.2008 г.

В статье приводятся результаты исследований, направленных на изучение режима водных ресурсов в условиях активного антропогенеза, и определения его величины. Анализируется возможность создания комплексных моделей количественного прогноза контаминационных процессов в специфических условиях криолитозоны Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Определено, что основную роль в миграции контаминантов в условиях криолитозоны ЯНАО играет конвективный перенос естественным потоком подземных вод при значительных скоростях последнего.

Ключевые слова: гидрогеология, геоэкология, подземные воды, криолитозона.

Водное хозяйство Ямало-Ненецкого автономного округа сформировалось как самостоятельная отрасль относительно недавно, всего несколько десятилетий назад. Однако, это обстоятельство несколько не принижает его значения в экономическом развитии Округа, в обеспечении нормальных условий жизни людей, в деле улучшения экологической обстановки в регионах и городах. Основой водного хозяйства как отрасли является ценнейший вид природных ресурсов – вода. Ресурс, который в современном мире становится все более дефицитным и политически значимым. Наряду с главным богатством – нефтью и газом, подземные воды играют огромную роль в ресурсной обеспеченности Округа и повышении качества и уровня жизни населения.

На фоне задач устойчивого развития общества, принятия нового Водного Кодекса и перспектив развития Округа, настоятельной необходимостью стала разработка основ прогноза изменения экологической устойчивости гидрогеологических систем. Как отмечалось многими авторами, наиболее универсальным инструментом для прогнозирования состояния подземных вод в связи с антропогенным воздействием и в связи с природными явлениями, являются математические модели [Лукнер, Шестаков, 1986]. Важным моментом является также и то, что математические модели для водных объектов должны разрабатываться профессионалами гидрогеологами, а геоинформационные системы (ГИС) – профессионалами от ГИС технологий. Когда возможно корректно увязать хорошую математическую модель и достоверную ГИС, можно достичь максимального эффекта от результатов моделирования и расширить область применения региональ-

ной эколого-экономической модели управления подземными водными объектами.

Создаваемая в последние годы авторами математическая модель гидрогеологических условий эоцен-четвертичного водоносного комплекса может стать основой для методологии экологического нормирования, которой до сих пор не существует. Отсутствие такой методологии объясняется в первую очередь отсутствием адекватных комплексных моделей количественного прогноза контаминационных процессов в специфических условиях криолитозоны ЯНАО. Этот пробел и должна восполнить разрабатываемая эколого-гидрогеологическая модель устойчивости стокоформирующих комплексов северной части Западно-Сибирского мегабассейна. Под устойчивостью системы подразумевается уровень её сопротивления определенной величине внешнего воздействия, при котором сохраняется нормальное экологическое состояние. Нахождение данной величины – основная задача экологического нормирования [Росновский, Копысов, 2002].

Проведенные исследования показывают, что создание достоверной модели устойчивости стокоформирующих комплексов возможно на основании моделирования водного баланса элементарных участков, где осуществляется антропогенная нагрузка и происходят значительные преобразования водного и теплового режима. Выделение таких участков для северной группы бассейнов кайнозойско-меловой системы стока произведено с использованием метода оценки водно-балансовых характеристик [Ястребов, Иванов, 2008].

Здесь же необходимо отметить, что подземные воды существенно отличаются от других полезных ископаемых. Ресурсы подземных вод, их качество, а

значит и пригодность для использования могут существенно изменяться во времени. Вследствие этого, важна не только оценка их текущего состояния, но и возможность прогноза на длительный период времени. Временное изменение характеристик подземных вод обусловлено их движением в гидросфере. Исходя из теоретических предпосылок, движение подземных вод происходит в результате взаимодействия динамических полей (давления, температуры, концентрации растворенных в воде компонентов и т.д.) и статических (геологических) полей – водопроницаемости, пористости, водопроводимости и т.п. С математической точки зрения динамические поля – это поля функций, а геологические – поля аргументов, т.е. тех факторов, которые оказывают влияние на функции.

По результатам многолетних региональных гидрогеологических исследований на территории Ямало-Ненецкого автономного округа было установлено, что одним из основных факторов (аргументов), влияющим на скорости движения подземных вод, являются особенности морфологии криолитозоны Западной Сибири.

Региональные закономерности пространственной изменчивости геоэкологических условий определяют площадной тренд стоковых характеристик эоцен-четвертичного водоносного комплекса. Современное строение мерзлоты обусловлено потеплением в среднезырянский межгляциал, которое изменило температурное поле мощной вечной мерзлоты, существовавшей со времени нижнезырянского похолодания, до глубины примерно 400 метров. Последовавшее за потеплением верхнезырянское похолодание проникло на глубину лишь 130–150 м, сформировав двухслойную мерзлоту, верхний слой которой начинается от поверхности земли и отвечает современному климату, а нижний – является остатком древней реликтовой мерзлоты. Таким образом, в плане и в разрезе отчетливо отслеживаются ледниковые события позднего плейстоцена-голоцена, сформировавшие условия поверхностного и подземного стока севера Западно-Сибирского мегабассейна [Иванов, Бешенцев, 2005].

В результате неоднократных оледенений, трансгрессий и регрессий арктического моря в четвертичный период, промерзание горных пород и типы строения мерзлых толщ имеют ярко выраженное широтное направление (рис. 1).

Выделение основных стокоформирующих комплексов и определение их водно-балансовых характеристик показало, что в их распространении также отслеживаются региональные закономерности, напрямую увязываемые с морфологией криолитозоны (рис. 2). Кроме того, расчеты показали, что данные комплексы (бассейны стока) имеют высокие скорости водообмена подземного стока (100–200 лет).

При широтном увеличении мощности многолетнемерзлых пород криолитозоны изменяются и



Рис. 1. Районирование территории Ямало-Ненецкого автономного округа по особенностям распространения криолитозоны.

Зоны многолетнемерзлых пород (ММП): 1 – количество ММП от 10 до 30%, модуль подземного стока 3,5 л/с км²; 2 – ММП от 30 до 70 %, модуль подземного стока 2,5 л/с км²; 3 – ММП до 90 %, модуль подземного стока до 1,5 л/с км²; 4 – содержание ММП составляет от 90 до 100% при модуле стока около 0,5 л/с км²; 5 – зона монолитной мерзлоты со 100% содержанием ММП и практически отсутствующий подземный сток (< 0,05 л/с км²).

сроки водообмена, уменьшаясь, например, для бассейна р. Пур от 250 лет на юге до 150 – на севере. Соответственно повышаются и скорости движения подземных вод эоцен-четвертичного водоносного комплекса. Исходя из того, что гидродинамический и гидрохимический режимы подземных вод тесно связаны, значимые скорости движения подземных вод определяют и больший конвективный перенос поллютантов. Здесь же необходимо отметить, что высокие скорости смены суммарного объема стока приводят к существенной промытости вмещающих пород, и, как следствие, – к малой литогенной и хемогенной составляющей общей минерализации подземных вод. На фоне такой ультрапресной минерализации даже незначительный привнос контаминантов приводит к заметному ухудшению качества подземных вод. Важным моментом является и то, что при больших скоростях водообмена система «вода–почва–породы» находится в состоянии крайне неустойчивого равновесия и изменение величины водообмена техногенным путем может за короткий срок привести к резкому изменению обстановки и ухудшению химического состава питьевых вод.

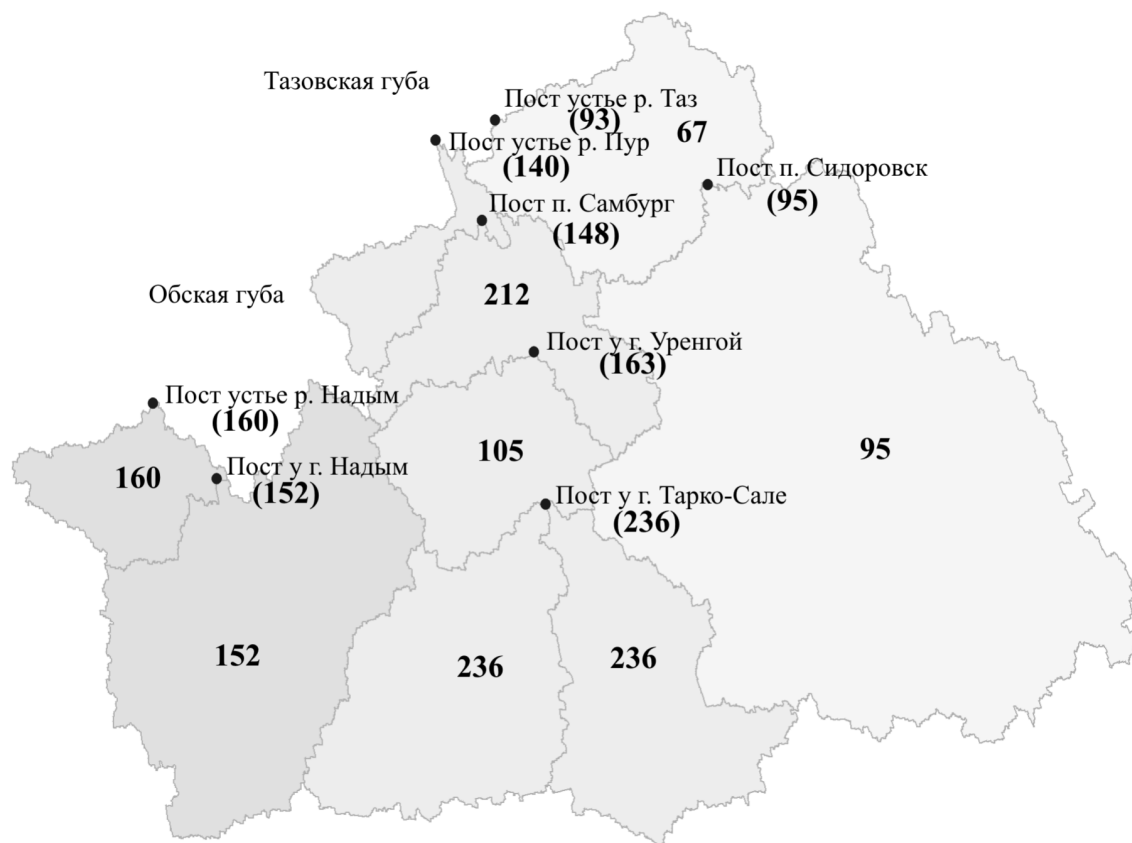


Рис. 2. Сроки водообмена стокообразующих комплексов (в годах).

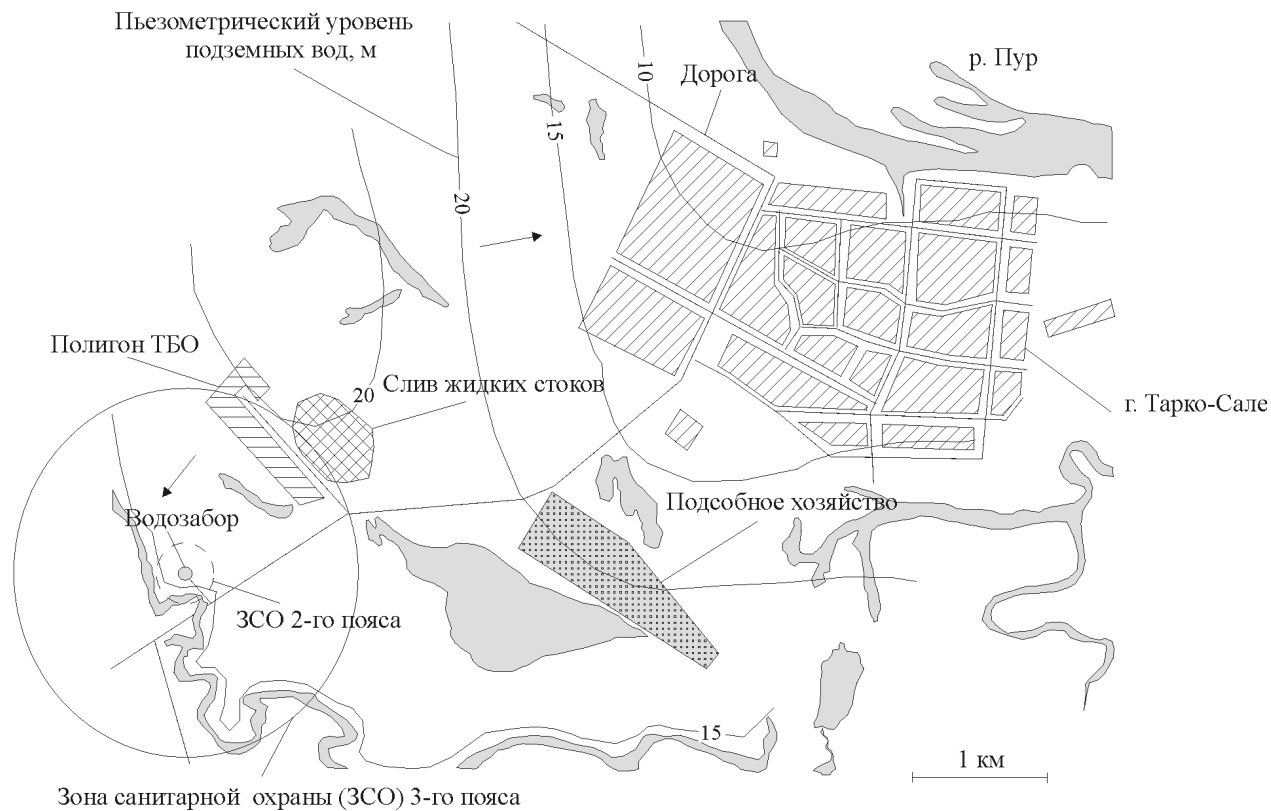
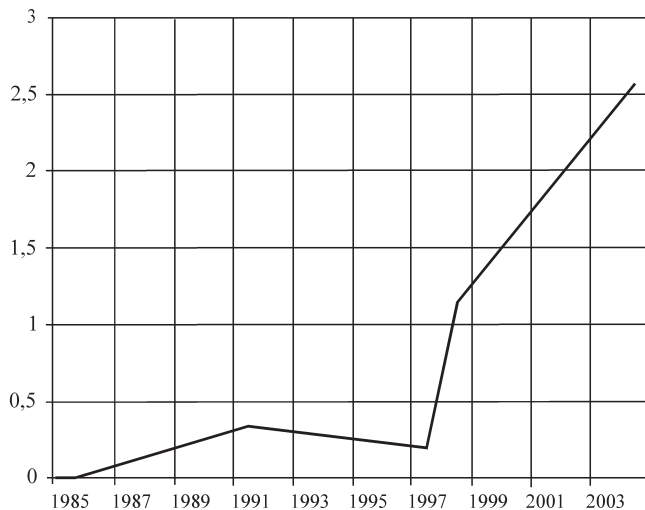


Рис. 3. Расположение водозабора г. Тарко-Сале относительно источников загрязнения. Заливка серым – поверхностные водотоки. Стрелками показано направление движения подземных вод.

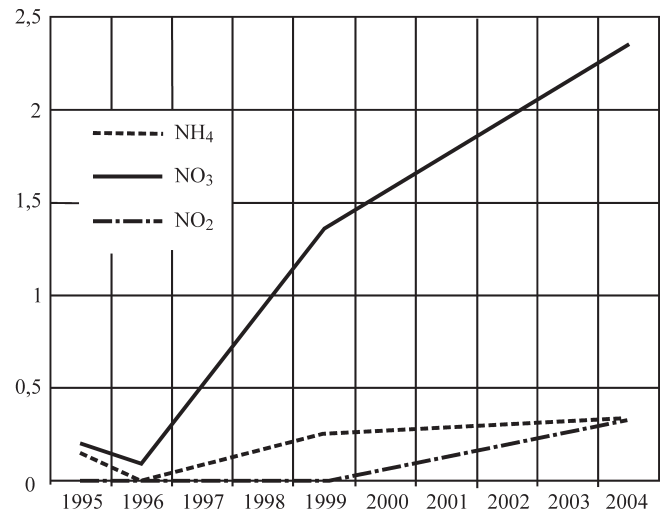
Рис. 4. Рост содержания NO_3 (мг/дм³)

Приведенные выше положения подтверждаются опытом практической деятельности водного хозяйства Ямало-Ненецкого автономного округа. Известно, что состояние подземных вод в районе водозаборного сооружения определяется многими факторами: типом водозабора, граничными условиями водоносного горизонта, характером естественного движения подземных вод, фильтрационной неоднородностью пород (плановой и слоистой). Как было показано выше, для водозаборов ЯНАО расположенных в условиях повсеместного распространения криолитозоны, значимым фактором является характер распространения естественных гидродинамических полей.

Ярким примером роли криолитозоны и, как следствие, высокой скорости водообмена, служит опыт эксплуатации водозабора в г. Тарко-Сале Пуровского района ЯНАО. Водозабор расположен в 4 км на юго-запад от г. Тарко-Сале (рис. 3). Дата сооружения – 1989 г., всего на водозаборе девять скважин, из них шесть постоянно работающих. Глубина бурения скважин – 180 м, фильтры скважин установлены в интервале глубин 140–180 м, в наиболее проницаемой части разреза. Текущий водоотбор – около 6000 м³/сут.

Характерной особенностью водозабора является наличие вблизи (чуть более одного километра) полигона слива жидких бытовых стоков и свалки твердых бытовых отходов. Многолетние наблюдения за составом подземных вод на водозаборе показывают стабильный рост загрязнителей, в первую очередь компонентов азотной группы (рис. 4).

Гидродинамические расчеты показывают, что скорость движения загрязнения к водозабору выше, чем если бы это было обусловлено только градиентом потока за счет снижения уровней в эксплуатационных скважинах. Анализ динамики естественного потока и скоростей фильтрации подтверждает преобладающую роль естественного движения подзем-

Рис. 5. Рост содержания загрязнителей на водозаборе г. Муравленко (мг/дм³)

ных вод в конвективном переносе загрязнителей. Гидрохимическое моделирование геомиграционных потоков на данном объекте позволяет сделать вывод и о малых величинах сорбционных процессов и незначительной деструкции загрязнения. Это можно объяснить как большими скоростями фильтрации, так и низкими температурами вмещающих пород. Одной из важных характеристик процессов самоочищения является скорость их протекания, которая уменьшается при понижении температуры. Для приближенной оценки влияния температуры на скорость химической реакции используют правило Вант-Гоффа, из которого следует, что при понижении температуры на 10°C скорость реакции уменьшается в 2–4 раза. Модельное описание обменных процессов с учетом гидрохимических превращений и рассмотрение воды как сложного раствора производилось на основе методов термодинамического моделирования [Крайнов и др., 2004].

Рассмотрение скорости движения различных поллютантов относительно скорости подземных вод также показало близость их коэффициентов сорбции и доминирование роли дисперсии в изменении поля концентраций, что вытекает из прямой зависимости «коэффициент диффузии–скорость фильтрации».

В ряд водозаборов со схожими условиями можно поставить водозаборы г. Надым, г. Пангоды, Лонгъюганского ЛПУ, п. Пуровск. УКПГ-4, УКПГ-7 [Ivanov, Shihmarev, 1997]. Для площадки водозабора г. Муравленко на наличие бытового загрязнения указывалось еще в 1987 г. (Протокол ГКЗ). Мониторинговые наблюдения в период 1995–2005 год подтверждают непрекращающийся процесс загрязнения подземных вод (рис. 5). В качестве основного источника загрязнителей выступают пруды-отстойники ливневой канализации, расположенные в одном километре западнее водозабора (в ЗСО II).

Для всех указанных водозаборов характерен рост содержаний ряда поллютантов за последние десять лет почти на порядок. Разработанные в последние годы комплексные модели количественного прогноза контаминационных процессов в специфических условиях криолитозоны для этих водозаборов также подтверждают превалирующую роль естественного движения подземных вод в конвективном переносе контаминантов и низкую самоочищающую способность эоцен-четвертичного водоносного комплекса.

ВЫВОДЫ

1. Геоэкологическая оценка состояния природных вод ЯНАО в условиях интенсивного развития нефтегазового комплекса приобретает чрезвычайно важное значение. Возрастающее потребление воды при пространственной изменчивости качества и количества подземных вод эоцен-четвертичного водоносного комплекса, усиление влияния антропогенных факторов на водный режим и качество вод заставляют относиться к воде, как к одному из важнейших и ценнейших природных ресурсов, имеющих ограниченные запасы.

2. Исследования, направленные на изучение режима водных ресурсов в условиях активного антропогенеза и определения величины его влияния на них, являются исключительно актуальными в проблеме геоэкологической оценки ведения водного хозяйства Ямало-Ненецкого автономного округа.

3. Основную роль в миграции контаминантов в условиях криолитозоны ЯНАО играет конвективный перенос подземных вод естественным потоком при значительных скоростях последнего.

4. Контаминационные процессы имеют многосторонний характер, существенно осложняющий возможности их моделирования, особенно на детерминированном уровне построения геомиграционных моделей. При проведении дальнейших

исследований в этом направлении следует особое внимание обратить на обоснование в комплексе геомиграционных моделей эффективных методов термодинамического моделирования процессов гидрохимических превращений.

Разработанная авторами модель гидрогеологических условий эоцен-четвертичного водоносного комплекса может стать научно-методической основой для более полной оценки, управления и планирования водными ресурсами ЯНАО и экологического нормирования последних.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванов Ю.К., Бешенцев В.А. Палеогеографические аспекты формирования химического состава пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Литосфера. 2005. № 4. С. 188–196.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеи В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 672 с.
- Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра, 1986. 208 с.
- Росновский И.Н., Копысов С.Г. Внешние воздействия и типы устойчивости почв // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. Тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 11–12.
- Ястребов А.А., Иванов Ю.К. Региональная динамика пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Литосфера. 2008. № 5. С. 165–178.
- Ivanov Y.K., Shihmarev V.M. Environment monitoring at oil and gas extraction in Western Siberia // Intern. Symp. «Engineering geology and the environment» Greece, Athens: Springer-Verlag, 1997. P. 165–167.

Рецензент доктор техн. наук С.Н. Тагильцев

THE FORECAST OF CONTAMINATION PROCESSES UNDER CRYOLITOZONE CONDITIONS

Y.K. Ivanov*, A.A. Yastrebov*, V.A. Beshentsev**

*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

**SI «Nedra Yamala»

The study of water resources regime under conditions of active anthropogenesis with the estimation of its extent are described in the article. The possibility of creating of the quantity forecast complex models of contamination processes in the specific conditions of the Yamalo-Nenets Autonomous Area cryolitozone is analyzed. It is defined that the natural stream of the underground water with their significant speed play a main part in the contaminant migration in these conditions.

Keywords: hydrogeology, geoecology, groundwater, cryolitozone.