

На правах рукописи

Сыроватко Юлия Сергеевна

**ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ**

Специальность 25.00.07 - Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск - 2008

Работа выполнена в Томском государственном архитектурно-строительном университете

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Покровский Дмитрий Сергеевич

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Рассказов Николай Михайлович

кандидат геолого-минералогических наук
Иванов Владимир Георгиевич

Ведущая организация:

Территориальное агентство по недропользованию по Республике Хакасия

Защита диссертации состоится 24 декабря 2008 г в 14.00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.03 при Томском политехническом университете по адресу: 634003, г. Томск, пр. Ленина, 2, стр. 5, ауд. 406, корпус 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета

Автореферат разослан 21 ноября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



О.Е. Лепокурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Значительная часть территории Республики Хакасия расположена в полуаридной ландшафтно-климатической зоне в условиях дефицита пресных подземных вод и все возрастающего техногенного загрязнения окружающей среды. Основой водоснабжения населения являются подземные воды, среди которых особая, стратегическая, роль принадлежит водам четвертичных аллювиальных отложений. Водоносные горизонты, развитые в речных долинах, обладают максимальными потенциальными эксплуатационными ресурсами и обеспечивают питьевой водой до 70% населения республики, в том числе гг. Абакана, Черногорска, Саяногорска, Абазы и ряда более мелких населенных пунктов. Вместе с тем, именно на площадях распространения этих вод расположены многочисленные населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные объекты, являющиеся как существующими, так и потенциальными источниками загрязнения. Среди разнообразных загрязняющих компонентов главенствующее место принадлежит нефтепродуктам. Многочисленные очаги загрязнения нефтепродуктами выявлены в городах Абакане, Черногорске и Саяногорске, в районных центрах Шира, Белый Яр, Копьево, Таштып и др. Особенности геологического строения территории предопределяют слабую защищенность подземных вод четвертичных отложений и их легкую доступность антропогенному загрязнению, что создает реальную угрозу деградации и даже потери основного источника водоснабжения. В этой связи, проблема оценки геоэкологического состояния водоносных горизонтов четвертичных отложений является весьма актуальной, а вопросы формирования состава и сохранения качества подземных вод требуют повышенного внимания.

Цель работы. Изучить гидрогеоэкологическое состояние водоносных горизонтов четвертичных отложений территории Республики Хакасия в связи с необходимостью рационального использования и охраны подземных вод в условиях интенсивных антропогенных нагрузок.

Задачи исследований: 1) рассмотреть факторы, определяющие формирование подземных вод четвертичных отложений; 2) изучить химический состав подземных вод четвертичных отложений, провести статистическую обработку массива данных; 3) изучить состояние загрязненности подземных вод нефтепродуктами; 4) изучить микробиологический состав подземных вод и почво-грунтов на объектах техногенного загрязнения; 5) оценить возможность использования аборигенной микрофлоры для рекультивации загрязненных территорий.

Исходные материалы и личный вклад автора. Основой работы послужили литературные источники, фондовые материалы Территориального агентства по недропользованию по Республике Хакасия, материалы по нефтепродуктовому загрязнению подземных вод и окружающей среды, любезно предоставленные сотрудниками Минусинской гидрогеологической партии,

результаты собственных исследований микрофлоры и химического состава подземных вод и почво-грунтов, загрязненных нефтепродуктами, результаты экспериментальных работ по изучению способности микрофлоры к очищению природных сред от нефтепродуктов и выращиванию биомассы для микробиологической рекультивации почво-грунтов.

Научная новизна. Выявлены факторы и установлены закономерности формирования подземных вод в условиях эксплуатации водоносных горизонтов четвертичных отложений. Впервые для территории Республики Хакасия исследована микрофлора и изучена ее роль в процессах самоочищения подземных вод и почво-грунтов и установлены диапазоны толерантности развития бактериальных сообществ в условиях углеводородного загрязнения. На основе аборигенной микрофлоры получена культура нефтеразрушающих бактерий и доказана возможность ее использования для рекультивации загрязненных территорий.

Защищаемые положения.

1. Геоэкологическая устойчивость водоносных горизонтов четвертичных аллювиальных отложений предопределяется совокупностью естественно-природных и техногенных факторов, а качество воды в источниках водоснабжения при эксплуатации зависит от соотношения источников формирования ресурсов, интенсивности эксплуатации и схемы размещения литотехнических систем водоснабжения.

2. Для водоносных горизонтов четвертичных аллювиальных отложений, стратегического источника водоснабжения населения, наиболее значимым является углеводородное загрязнение, степень которого определяется не только масштабами источника загрязнения, но и слабой защищенностью и характером фильтрационных свойств четвертичных отложений.

3. В процессах природного самоочищения подземных вод от углеводородного загрязнения основная роль принадлежит аэробным нефтеокисляющим и сапрофитным бактериальным сообществам, диапазон толерантности которых контролируется концентрацией нефтепродуктов и минерализацией подземных вод.

4. При масштабных загрязнениях природных сред нефтепродуктами наряду с механическими видами рекультивации рекомендуется проводить доочистку загрязненных территорий при помощи биопрепаратов на основе аборигенной микрофлоры, являющейся экологически безопасной по санитарно-эпидемиологическим нормативам и наиболее конкурентоспособной при ремедиации загрязненных экосистем.

Практическое значение. Результаты исследований могут быть использованы при обосновании мест расположения и режимов эксплуатации водозаборов из водоносных горизонтов четвертичных аллювиальных отложений, при идентификации участков захоронения углеводородного сырья, при выборе контролируемых параметров и совершенствовании организации мони-

торинга на территориях существующего и потенциального углеводородного загрязнения, а также рекультивации нефтезагрязненных подземных вод и почв.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на IV, V и VII Международных научных симпозиумах студентов и аспирантов им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2000, 2001, 2003), на VI и VII Международных экологических конференциях «Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ» (Новосибирск, 2001, 2002), на Всероссийской научно-практической конференции «Окружающая среда» (Тюмень, 2001), на Южно-Сибирской Международной научной конференции студентов и молодых ученых (Абакан, 2001), на Международной конференции «Научные основы сохранения водосборных бассейнов» (Улан-Удэ – Улан-Батор, 2004). Результаты исследований отмечены медалью РАН и дипломами международного уровня I и II степени. По теме диссертации опубликованы 13 работ. Из них 10 работ опубликованы без соавторов и 3 работы - с соавторами.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Общий объем работы 156 страниц текста, включающего 21 таблицу, 32 рисунка и 120 наименований библиографических источников.

Работа выполнялась на кафедре гидрогеоэкологии и водохозяйственной деятельности Томского государственного архитектурно-строительного университета при тесном взаимодействии с сотрудниками кафедры гидрогеоэкологии и инженерной геологии и Проблемной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета. Автор глубоко признателен и благодарен научному руководителю, д.г.-м.н. Д.С.Покровскому и научному консультанту, д.г.-м.н. Е.М.Дутовой за постоянное внимание, ценные советы и действенную помощь, к.г.-м.н. Н.Г.Наливайко, под руководством которой была выполнена экспериментальная часть работы, главному геологу Территориального агентства по недропользованию по Республике Хакасия А.А.Булатову за помощь в сборе фондовых материалов, сотрудникам Минусинской гидрогеологической партии А.С.Кривошееву, В.А.Мельниковой, В.И.Ящучку, любезно предоставившим материалы по объектам нефтепродуктового загрязнения и оказавшим неоценимую помощь в отборе проб воды и почв, К.К.Кузеванову, оказавшему помощь в освоении ГИС технологий и оформлении материалов, а также всем тем, с кем автор, так или иначе, был связан в процессе работы и находил постоянную поддержку.

Глава 1. Состояние изученности и постановка проблемы исследований

Первые сведения о подземных водах Хакасии относятся к XVIII веку. С этого времени они активно изучались различными организациями и отдельными лицами, первоначально как гидроминеральные бальнеологические ресурсы, затем в целях обеспечения хозяйственно-бытового водоснабжения населения и обводнения пастбищ. Результаты гидрогеологических и гидро-

геохимических исследований, проведенных на территории республики отражены в многочисленных производственных отчетах, а также в научных статьях, монографиях и диссертациях А.А.Булатова, М.А.Бурлаковой, Д. Бэнкса, Е.М. Дутовой, В.М. Елисеева, Ю.Г. Копыловой, А.С. Кривошеева, А.А. Куваева, В.С. Кусковского, Т.А. Кулагиной, О.А. Мачкасовой, В.А. Мельниковой, Н.Г.Наливайко, А.Ю. Озерского, В.П. Парначева, Д.С. Покровского, Н.М. Рассказова, Г.М. Рогова, С.Л. Шварцева и других исследователей. В тоже время, многие вопросы, несмотря на их очевидную важность, остаются не достаточно изученными либо рассмотренными фрагментарно. К ним, в частности, относятся рассматриваемые в данной работе вопросы формирования и загрязнения подземных вод четвертичных отложений в условиях интенсивного антропогенного воздействия, оценка роли аборигенной микрофлоры и возможности использования ее для идентификации и ликвидации нефтепродуктового загрязнения.

Глава 2. Природные факторы формирования подземных вод

Основными факторами формирования подземных вод республики являются физико-географические условия и геологическое строение.

Республика Хакасия находится практически в центре Азиатского материка, занимает площадь 61,9 тыс. км², граничит на севере и востоке с Красноярским краем, на юге и западе – с республиками Тыва и Алтай, на западе с Кемеровской областью. Приблизительно одна треть ее территории принадлежит равнинным пространствам Минусинской котловины и две трети – горным сооружениям Кузнецкого Алатау и Западного Саяна, обрамляющим котловину с запада и юга. В пределах горных сооружений преобладает среднегорный рельеф с подтаежными и таежными ландшафтами, в наиболее приподнятых частях хребтов развиты участки высокогорного рельефа. Для Минусинской котловины характерны степной и лесостепной ландшафты. Климат резко континентальный с амплитудами колебаний температур до 85 – 92 °С, недостаточным увлажнением в степных районах и избыточным – в горных сооружениях. Гидрографическая сеть принадлежит бассейнам рек Енисей и Обь, около 7% территории относится к бессточным областям. Горные районы характеризуются хорошо развитой гидрографической сетью. Степные, засушливые пространства бедны естественными поверхностными водотоками. Широко распространены озера, а также искусственные оросительные системы и водоемы.

Возрастной диапазон стратифицированных образований, выделенных в Хакасии, охватывает период от раннего рифея до голоцена включительно. Повышенной водообильностью обладают песчанистые и карбонатные разности пород. Отложения четвертичного возраста представлены широким спектром генетических типов, фаций и литологических разностей и обладают различной степенью обводненности. Водоносные толщи аллювиаль-

ных отложений крупных рек являются основным источником водоснабжения гг. Абакана, Черногорска, Саяногорска и ряда других населенных пунктов.

Глава 3. Гидрогеология четвертичных отложений

Среди водоносных четвертичных отложений выделены:

1) Водоносный горизонт современных аллювиальных отложений распространенный в долинах рек Енисей, Абакан, Бол.Абакан и Мал.Абакан, Она, Томь, Балыкса, Чулым, Белый и Черный Июс и их притоков;

2) Относительно водоносный горизонт верхнечетвертичных-современных элювиально-делювиальных отложений распространенный в широком диапазоне условий, от водоразделов до предгорных шлейфов, и включает в себя весь спектр склоновых образований – элювиальных, делювиальных, коллювиальных, пролювиальных и их переходных разновидностей;

3) Водоносный горизонт средне-верхнечетвертичных аллювиальных, аллювиально-пролювиальных, ледниковых и водно-ледниковых отложений достаточно широко распространенный на отдельных территориях в Южно-Минусинском бассейне и Западном Саяне.

Формирование вод зоны гипергенеза, согласно положениям, развиваемым С.Л. Шварцевым, проходит атмогенный, литогенный, биогенный и испарительный этапы. Это полностью относится и к формированию вод рассматриваемых водоносных горизонтов, но, с нашей точки зрения, к этим этапам, учитывая сложность геоэкологической обстановки в условиях Хакасии, следует отнести еще и антропогенный этап.

Проведенные нами обобщения показали, что химический состав подземных вод четвертичных отложений весьма разнообразен (табл. 1). В каждом из выделенных водоносных горизонтов могут быть встречены воды от ультрапресных до слабосоленоватых по минерализации и от типично гидрокарбонатных кальциевых до сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатных натриевых. В то же время, хорошо прослеживается тенденция увеличения минерализации вод от молодых отложений к более древним. Такую же картину можно проследить и по значениям общей жесткости, pH и содержаниям основных типобразующих компонентов (Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^-). Эта закономерность объясняется различной степенью участия факторов формирования состава подземных вод и преобладающей ролью того или иного из них.

Гравийно-галечниковые современные четвертичные аллювиальные отложения обладают высокими фильтрационными свойствами. В ландшафтных условиях горного обрамления Минусинской котловины это обеспечивает высокие скорости фильтрации, интенсивность водообмена, малое время взаимодействия в системе «вода-порода» и, соответственно, унаследованность облика химического состава подземных вод, типичного для относительно удаленных областей, расположенных в пределах избыточно увлажненных территорий гидрогеологических массивов. Это преимущественно

ультрапресные и умеренно пресные гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магниевые подземные воды.

В пределах равнинных степных ландшафтов Минусинских котловин эта унаследованность за счет транзитного характера фильтрационных потоков продолжает сохраняться, но снижающаяся интенсивность водообмена,

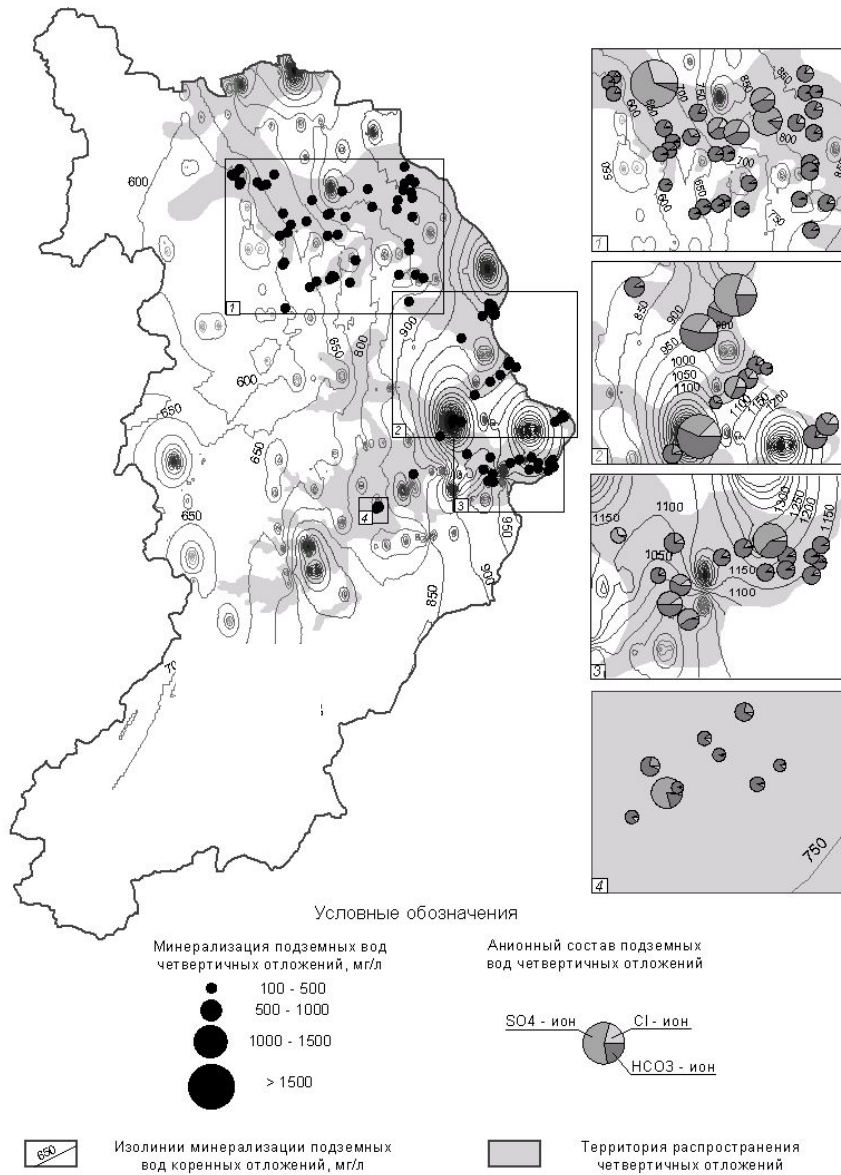


Рис. 1. Химический состав подземных вод

Таблица 1. Химический состав подземных вод четвертичных отложений

Значения	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	Жест- кость	Минера- лиз.
	мг/л								мг-экв/л	мг/л
Современные четвертичные отложения										
Мини- мальное	3,4	2,9	67	0,02	0,2	7,4	1,2	6,9	0,8	105,2
Макси- мальное	258,5	697,5	628	3	353,9	200,5	321,9	8,4	6,9	1035,44
Среднее	27,1	80	287	0,37	37,6	60,6	34,1	7,55	2,8	434,85
Число опре- делений	65	59	65	65	62	65	65	25	65	65
Верхнечетвертичные отложения										
Мини- мальное	10,3	7,4	73	0,1	13,8	21,6	5,97	7,4	1,6	171,3
Макси- мальное	269,8	316,8	562	0,25	275,5	96	42,9	8,4	8,0	1133,9
Среднее	68,1	84,1	235	0,14	86,9	53,7	21,8	7,72	4,5	546,3
Число опре- делений	17	17	17	6	14	17	17	17	17	17
Средне-верхнечетвертичные отложения										
Мини- мальное	42,6	57,6	134	0,7	10,58	0,04	3,6	7,5	2,1	184,4
Макси- мальное	312,4	437,8	483	0,7	330	112	39,3	8,1	8,2	1439,2
Среднее	126,4	189,7	285	0,7	135,9	65,74	22,4	7,72	5,2	788,0
Число опре- делений	5	5	6	1	6	6	6	5	6	6
Четвертичные отложения в целом										
Мини- мальное	3,43	2,9	67	0,02	0,23	0,04	1,2	6,9	0,8	105,2
Макси- мальное	312,4	697,5	628	3	353,9	200,5	321,9	8,4	8,2	1439,2
Среднее	40,8	87,6	277	0,32	53,2	59,63	31,1	7,65	2,8	482,48
Число опре- делений	87	81	88	25	82	88	87	48	17	88

возрастающее влияние испарительных процессов и повышение доли разгружающихся минерализованных подземных вод подстилающих коренных отложений приводят к появлению и все более широкому распространению собственно пресных, а в отдельных случаях и солоноватых вод.

Подземные воды водоносных горизонтов верхнечетвертичных и средне-верхнечетвертичных отложений, обладающих более низкими фильтрационными свойствами, на большей части территории их развития формируются в условиях местного инфильтрационного питания и меньшей интенсивности

водообмена. Это обеспечивает большее время взаимодействия в системе «вода-порода» и, соответственно, большую степень минерализации подземных вод. Дополнительно усиливающую, а в пределах засушливых районов Минусинских котловин и решающую, роль в формировании их химического состава играют процессы испарительного концентрирования, что находит отражение в широком распространении не только собственно пресных, но и умеренно солоноватых подземных вод.

Слабосоленоватые и умеренно солоноватые воды в скважинах, вскрывающих четвертичные отложения, встречены не только непосредственно в степных ландшафтах, где это связано с концентрированием солей за счет испарительных процессов, присущих данной местности, но и в районах городских агломераций. Связано это с техногенным вмешательством в подземную гидросферу: интенсивный водоотбор из водозаборных сооружений вызывает подтягивание подземных вод нижележащих горизонтов карбона и девона, которые более минерализованы, нежели воды четвертичных отложений. Состав подземных вод в таких случаях приобретает тенденцию к изменению в сторону увеличения содержаний сульфатов и хлоридов: воды приобретают сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-сульфатный, хлоридно-сульфатный и сульфатный анионный состав.

Умеренно солоноватые и солоноватые воды с минерализацией до 3 г/л распространены на севере республики, на востоке в районе Койбальской оросительной системы, где основную роль играют испарительные процессы, в районе пгт. Усть-Абакан, где повышение солёности связано с разгрузкой подземных вод каменноугольных отложений и техногенным загрязнением. Воды здесь сульфатные, гидрокарбонатно-сульфатные и хлоридно-сульфатные.

Исследованиями Минусинской гидрогеологической партии, на территории республики установлены многочисленные источники загрязнения, многие из которых выявлены еще в 80-ые годы, но существуют и в настоящее время. Яркими примерами являются первоначально благополучные районы окраины г.Абакана, где выявленные источники загрязнения (ТЭЦ, завод строительных материалов, нефтебаза и др.) привели к практической невозможности использования подземных вод населением частного сектора, г.Сорск, где водоносный горизонт деятельностью молибденового комбината приведен в непригодное для эксплуатации состояние, п.г.т. Усть-Абакан, в пределах которого загрязнение подземных вод – явление повсеместное. Среди множества разнообразных загрязняющих компонентов (сульфатов, хлоридов, азотистых и органических соединений) главенствующее место принадлежит нефтепродуктам.

Глава 4. Нефтепродукты в подземных водах Республики Хакасия

Согласно данным Территориального центра мониторинга подземных вод и состояния недр Республики Хакасия, в республике насчитывается более

230 объектов нефтепродуктового обеспечения, и они в той или иной мере оказывают влияние на состояние окружающей среды. Многочисленные очаги загрязнения нефтепродуктами выявлены в городах Абакане, Черногорске и Саяногорске, районных центрах Шира, Белый Яр, Копьево, Таштып и др. Большая часть объектов загрязнения связана с деятельностью нефтебаз и автотранспортных предприятий, имеющих склады ГСМ. Интенсивность загрязнения разнообразна – от содержаний, составляющих единицы и десятки ПДК, до полного замещения воды нефтепродуктами в приповерхностном слое водоносного горизонта.

Результатами исследований, проведенных в районе Абаканской нефтебазы, где четвертичный водоносный горизонт залегает на глубине 3 – 8 м от поверхности в толще гравийно-галечниковых отложений, перекрытых желтовато-серыми суглинками, установлено, что за более чем шестидесятилетний период эксплуатации нефтебазы локальные утечки при разгрузке, перекачке и хранении нефтепродуктов привели к масштабному загрязнению грунтов зоны аэрации и водоносного горизонта. Здесь на площади около 40 га выявлено три линзы нефтепродуктов, состоящих из смеси бензина (60 – 80 %) и дизельного топлива (20 – 40 %) с небольшой примесью масел. Общее количество заключенных в них нефтепродуктов составляет 2000 – 2500 м³. Параметры линз меняются в зависимости от положения уровня грунтовых вод. Наибольшую площадь (до 6 – 7 га) и мощность (до 0,8 – 1,0 м) линзы имеют при низком уровне грунтовых вод. При подъеме уровня на 0,8 – 1,0 м значительное количество нефтепродуктов «защемляется» в зоне аэрации, вследствие чего мощность линз и их площадные размеры уменьшаются в полтора – два раза. Под линзами водоносный горизонт загрязнен нефтепродуктами на глубину не менее 4 – 5 м, причем содержание нефтепродуктов меняется от 10 – 15 мг/л на глубине 0,5 м до 0,3 – 0,7 мг/л на глубине 3,5 – 4,0 м.

Кроме того, имеются примеры рассредоточенного загрязнения, проявляющегося в пределах водоносных горизонтов, подземные воды которых используются для питьевого водоснабжения. Так, например, в отдельных скважинах водозаборов, расположенных в черте промышленной зоны г.Саяногорска и испытывающих на себе типичное для городских водозаборов техногенное воздействие, концентрации нефтепродуктов иногда составляют 0,1-0,4 мг/л. В воде ряда скважин, используемых для водоснабжения районного центра Шира, количество нефтепродуктов составляет 0,45-1,46 мг/л. Не всегда соответствует нормативным требованиям качество подземных вод, подаваемых для питьевого водоснабжения населения из локальных водозаборов в долине р. Абакан (содержание нефтепродуктов до 0,26 мг/л). Повышенное содержание нефтепродуктов отмечалось и в групповых водозаборах. В целом содержания нефтепродуктов в подземных водах четвертичных отложений превышают значения ПДК в 55% отобранных проб воды (табл. 2).

Таблица 2. Нефтепродукты в подземных водах четвертичных отложений

Водоносный горизонт	Содержание, мг/л			Число значений	Число значений больше ПДК	Встречаемость некондиционных вод, %
	Максим.	Миним.	Среднее			
Верхнечетвертичных отложений	9,6	0,01	0,68	105	51	49
Средне-верхнечетвертичных отложений	174	0,01	1,24	423	241	57
Четвертичных отложений в целом	174	0,01	1,13	528	292	55

В подземных водах верхнечетвертичного горизонта количество нефтепродуктов варьирует от 0,01 мг/л до 9,6 мг/л, а число нестандартных проб составляют 49%.

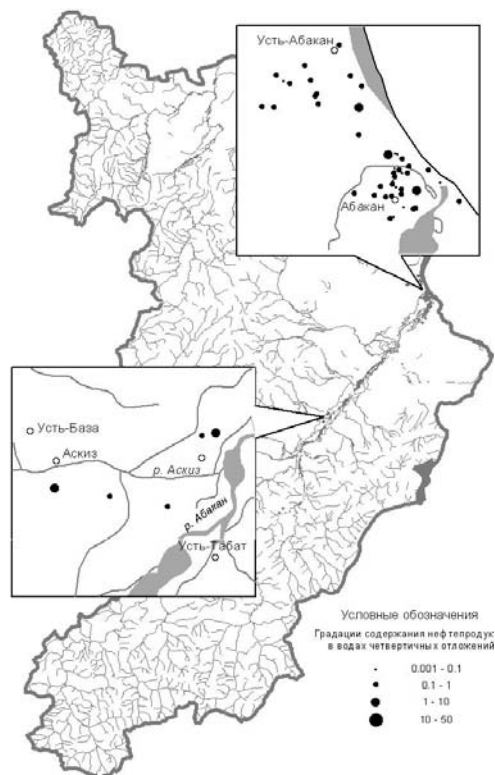


Рис. 2. Содержание нефтепродуктов в подземных водах

Если рассматривать содержания нефтепродуктов в подземных водах средне-верхнечетвертичного горизонта, то они изменяются в пределах 0,01-174 мг/л, а встречаемость некондиционных вод здесь возрастает и достигает 57%.

Максимальные концентрации нефтепродуктов в подземных водах четвертичных отложений имеют критические значения, что является показателем катастрофического воздействия человека на окружающую среду, и служит сигналом для быстрого реагирования с целью обеспечения очистки, защиты и контроля качества вод. Самыми загрязненными подземными водами по данному параметру являются подземные воды средне-верхнечетвертичных отложений.

Глава 5. Микробиологический состав подземных вод и почво-грунтов и использование аборигенной микрофлоры для их биоремедиации

В связи с продолжающимся интенсивным развитием хозяйственной деятельности и, главным образом, с расширением транспортной инфраструктуры республики, неизбежно все более масштабное загрязнение природных сред нефтепродуктами. В тоже время, непосредственным анализом органических веществ в водной среде установить проникновение нефтепродуктов в водоносные горизонты сложно, если даже известно, что подобный факт имел место. Это связано с характером миграции нефтепродуктов в подземных водах, их качественным составом, низкими абсолютными концентрациями и недостаточной чувствительностью методов аналитических определений. Ликвидация же уже существующего загрязнения требует применения технических решений, к сожалению, до сих пор недостаточно разработанных. В этих условиях, как нам представляется, широкие перспективы открываются перед биохимическими технологиями. Микроорганизмы, обитающие в подземных водах, чутко реагируют на загрязнения различного характера, в том числе и нефтяного и, обладая высокой избирательной чувствительностью к загрязнителю, могут быть использованы как для обнаружения, так и, в ряде случаев, для ликвидации загрязнения. С этих позиций на ряде объектов углеводородного загрязнения нами были выполнены опытно-методические работы по изучению микробиоценозов подземных вод. Объектом изучения являлись подземные воды четвертичных и палеозойских отложений, вскрытых скважинами на различной глубине. В процессе исследований выявлялись и количественно учитывались гетеротрофы, сапрофиты, нефть- и углеводородокисляющие (пентан-, гексан-, толуолокисляющие), сульфатредуцирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие бактерии, оценивалась способность микробиоты осуществлять деструкцию нефти и ее дериватов. Обобщенные результаты исследований приведены в табл. 3.

Для бактериальных сообществ четвертичного водоносного горизонта характерно преобладание (в отдельных пробах до 80 % и более) сапрофитов, которые, как известно, являются типичными обитателями природных сред,

богатых азотсодержащими органическими веществами. Индекс трофности, характеризующий направленность процессов превращения органических веществ, выше единицы, что свидетельствует о постоянном притоке и накоплении лабильного органического вещества в результате низкой скорости его деструкции. Возможно, это связано с тем, что в составе сапрофитов четвертичного водоносного горизонта присутствует аллохтонная микрофлора, привнесенная с поверхности, подтверждением чего служит низкое содержание гетеротрофов в неглубоких скважинах.

Таблица 3. Химические и микробиологические показатели состава подземных вод в районах углеводородного загрязнения

Показатели		Значения показателей					
		Воды четвертичных отложений			Воды палеозойских отложений		
		Минимальное	Максимальное	Среднее	Минимальное	Максимальное	Среднее
Глубина отбора проб, м		3	19	7	42	57	51
Минерализация, г/л		0,2	1,4	0,8	4,8	9,2	6,3
рН		7,3	8,5	7,7	7,6	8,9	8,2
Окисляемость, мгО ₂ /л		0,8	9,0	4,2	1,3	24,0	6,5
Нефтепродукты, мг/л		0,03	39,7	14,9	1,2	7,9	3,2
Микрофлора кл/мл	гетеротрофы	50	774000	196693	46800	400000	127840
	сапрофиты	12550	1105000	204262	1880	115000	35106
	нефтеокисляющие	1044	110000	36469	43290	121200	74361
	сульфатредуцирующие	10	1000	370	1	1000	277,8
	денитрифицирующие	100	1000	400	10	1000	340
	нитрифицирующие	10	50	33	20	2000	1504
	углеводородокисляющие	5	122100	22428	255	11003	2844,7

Нефтеокисляющие бактерии, которые считаются основными деструкторами нефти и ее дериватов, составляют в среднем около 10 %. Изучение их потенциальной способности к окислению сырой нефти выявило ее относительно невысокую эффективность: в течение двух недель в условиях краткосрочного опыта бактериоценоз использует от 3 до 15 % исходного количества нефти.

Углеводородокисляющие бактерии в бактериальном сообществе изученных вод составляют в среднем лишь около 5 %, однако интенсивность развития пентан-, гексан- и толуолокисляющих бактерий достаточно высока, в среднем около 300 усл. ед. Единично выявлены сульфатвосстанавливающие и денитрифицирующие анаэробные гетеротрофные микроорганизмы. Количество их в положительных пробах невелико, но они высокоактивны. В составе автотрофного компонента в воде четвертичного горизонта повсеместно присутствуют в небольшом количестве нитрифицирующие бактерии.

Корреляционный анализ показал высокую положительную взаимосвязь концентрации нефтепродуктов с количеством нефтеокисляющих бактерий и сапрофитов. Определяющим экологическим условием формирования бактериальных сообществ водоносного горизонта четвертичных отложений является нефть, в деградации которой принимают участие не только специализированные нефтеокисляющие группы бактерий, но и сапрофитная микрофлора. В аэробных условиях этого водоносного горизонта происходит окисление в основном легких фракций нефти, о чем говорит присутствие значительного количества активных форм пентан-, гексан- и толуолокисляющих бактерий.

В бактериальных сообществах водоносного горизонта палеозойских отложений сапрофитов во много раз меньше, и преобладают гетеротрофы – микроорганизмы, адаптированные к более низкому содержанию органических веществ. Индекс трофности меньше единицы, что характерно для активно идущих процессов деструкции азотсодержащего органического вещества. Нефтеокисляющие бактерии составляют от 45 до 55 % общего состава микрофлоры, что в полтора раза больше, чем в водоносном горизонте четвертичных отложений, при их одинаковой способности к окислению сырой нефти. Характерно наличие средней отрицательной корреляционной связи между концентрацией нефтепродуктов и количеством нефтеокисляющих микробов, и высокой положительной связью между концентрацией нефтепродуктов и способностью к окислению сырой нефти. Это свидетельствует о том, что в водах присутствует значительное количество микроорганизмов, не разрушающих нефть, но развивающихся в сообществах с нефтеразрушающими организмами за счет низкомолекулярных продуктов деградации нефти или других минорных органических соединений. Высокая корреляционная связь между минерализацией воды и количеством высокоактивных форм нефтеокисляющих бактерий позволяет считать их аборигенной микрофлорой минерализованных вод, реализующих естественный механизм самоочищения геологической среды от нефти. Сопутствующая микрофлора является привнесенной, неадаптированной к конкретным условиям местообитания.

Углекислородокисляющие бактерии представлены, в основном, пентан- и гексаноокисляющими бактериями, хотя толуолокисляющие бактерии выявлены в 80 % изученных проб. Практически повсеместны активные формы сульфатовосстанавливающих бактерий, хотя и в небольшом количестве. Содержание денитрифицирующих бактерий также невысокое. Обращает на себя внимание присутствие большого количества аэробных автотрофных нитрифицирующих бактерий, что может быть обусловлено наличием большого количества аммония и углекислоты. Нитрифицирующие бактерии присутствуют повсеместно, почти в 30 раз превышая их количество в водоносном горизонте четвертичных отложений. Анаэробная микрофлора в подземных водах палеозойских отложений присутствует в незначительном количестве. Очевидно, что основным лимитирующим фактором, ограничивающим разви-

тие микрофлоры в водах горизонта палеозойских отложений, является относительно высокая минерализация этих вод. Поэтому в деградации нефти участвуют микроорганизмы, приспособившиеся не только к высокой концентрации нефти, но и к повышенной минерализации.

В пробах воды, отобранных из скважин на территории Абаканской нефтебазы, определялось общее количество микроорганизмов, а также физиологические группы бактерий, осуществляющих деструкцию легкорастворимых азотсодержащих органических веществ (сапрофиты), нефти и углеводов различных классов. Результаты определений показали наличие всех исследуемых групп бактерий. Их дифференциация по площади подтверждает повсеместное комплексное загрязнение территории и, одновременно, свидетельствует о достаточно интенсивно идущих процессах деструкции органических веществ. Количество сапрофитов, обнаруженных во всех пробах, имеет приблизительно пятикратный разброс и колеблется от 8 до 42 тыс. клеток на 1 мл. Гораздо больший разброс, от 100 до 2290 кл/мл, имеют нефтеокисляющие бактерии, т.к. мы имеем дело как с относительно чистыми, так и с загрязненными нефтью водами. Обращает на себя внимание, что, несмотря на сравнительно небольшое количество, их жизнеспособность очень велика. Об этом свидетельствует интенсивный рост бактериальной биомассы при посевах на твердых питательных средах. Преобладающее распространение имеет активная микрофлора, окисляющая углеводороды различных классов, что естественно для водоносного горизонта, в котором присутствуют углеводороды различной сложности. Микроорганизмы обладают высокой потенциальной способностью к окислению широкого спектра углеводородов: от короткоцепочечных метанового ряда до ароматических. Общая биогенная активность девяти различных бактериальных групп нефтеокисляющих бактерий невелика (табл. 4).

Таблица 4. Микрофлора подземных вод и почв района Абаканской нефтебазы

Объект исследования	Сапрофиты, кл/мл	Нефтеокисляющие бактерии, кл/мл	Углеводородокисляющие бактерии	
			Количество исследованных групп	Общая биогенная активность, усл. единицы
Вода-скв.905	13700	390	9	4260
Вода-скв.857	8000	100	9	3140
Вода-скв.881	42000	2290	9	2460
Почва	240000	340000	9	4500

Почвы на территории нефтебазы в месте отбора содержат сравнительно небольшое количество как сапрофитных, так и нефтеокисляющих бактерий, что связано с недостатком необходимых компонентов биопитания. Известно, что сапрофиты – типичные показатели бытового загрязнения – при недостатке легко доступной азотсодержащей органики могут переходить на питание нефтепродуктами, усиливая способность природных субстратов к микробиологическому самоочищению. Кроме того, развиваясь в подпочвенных гори-

зонтах, в местах углеводородных эманаций, микроорганизмы создают «бактериальный фильтр», меняя конфигурацию площадного распространения углеводородов.

Микрофлора почв очень активна. Это подтверждается краткосрочным экспериментом, поставленным нами с целью выявления способности почвы к самоочищению от нефти и ее дериватов. В процессе эксперимента исследуемую почву в количестве 15 г заливали 100 мл минерального стерильного питательного раствора, содержащего азот, фосфор, калий, магний, и добавляли 20 г нефти. Экспериментальный раствор инкубировали при 17 °С с минимальной аэрацией. В течение 6 дней микрофлорой почвы в элективных условиях среды было разрушено 12 г нефти. Результаты эксперимента и анализа распространения микроорганизмов говорят о том, что микрофлора почвы обладает высокой потенциальной активностью к окислению нефти и широкого спектра углеводородов: гексана, гептана, октана, нонана, декана, фенола, нафталина, бензола и толуола. Значительная эффективность окисления нефти и высокая интенсивность развития бактерий объясняются адаптацией микрофлоры к постоянным многолетним утечкам углеводородов.

Изучение микробной составляющей почво-грунтов проводилось нами и на территории Абаканской автозаправочной станции показало, что по количественным показателям гетеротрофы варьируют от 1764000 кл/мл до 2960000 кл/мл (табл. 5). Распространение нефтеокисляющих микроорганизмов имеет большой размах, и содержание их колеблется от 140000 кл/мл до 5320000 кл/мл. Такой разброс количественного содержания нефтеокисляющей микрофлоры говорит о разной степени загрязненности данной территории нефтепродуктами. Наличие же углеводородокисляющей микробиоты изменяется от 740 до 1500 у.е. с разной степенью интенсивности развития. Большая степень интенсивности развития выявлена у микрофлоры, окисляющей октан. Также отмечено, что максимальные содержания гетеротрофной микробиоты соответствует максимальным значениям нефтеокисляющей и углеводородокисляющей.

Таблица 5. Микробиота почво-грунтов на территории Абаканской АЗС № 23

Значение	Гетеротрофы, кл/мл	Нефтеокисляющие, кл/мл	Углеводородокисляющие					Общ. биог.
			Пентано-кисляющие	Гексано-кисляющие	Октано-кисляющие	Бензол-кисляющие	Толуолокисляющие	
Максимальное	2960000	5320000	240	380	450	340	350	1500
Минимальное	1764000	140000	180	60	350	200	240	740
Среднее	2403333	2280667	207	210	410	270	283,3	1198
Количество определений	6	6	3	4	4	3	3	4

Полученные данные говорят о том, что микрофлора почво-грунтов автозаправочной станции, обитая в условиях сильной загрязненности нефтью, приспособилась к использованию нефти и ее производных в целом, а не к

использованию отдельных содержащих углеводов в качестве единственного источника углерода и энергии.

Все это свидетельствует, что как воды, так и почвы в условиях Хакасии содержат активную нефте- и углеводородокисляющую микрофлору, которая при создании соответствующих условий (обеспечение биогенными элементами и аэрации) интенсивно развивается и может служить фактором защиты от проникновения нефти и ее продуктов в водоносный горизонт.

Являясь чутким индикатором такого рода загрязнения, микроорганизмы могут использоваться в качестве наиболее перспективного биотеста по определению состояния окружающей среды, так как имеют высокую чувствительность к изменениям внешней среды, скорость размножения, быстроту наращивания биомассы. Изменения в видовом соотношении микробного сообщества уже заметны при однократном воздействии значительного содержания нефтепродуктов. Реакции микробных популяций можно использовать как тесты сигнального действия, которые позволяют провести раннее распознавание техногенного воздействия. Изучение микрофлоры природных сред должно являться неотъемлемой частью мониторинга за состоянием окружающей среды.

При масштабных загрязнениях природных сред нефтепродуктами, наряду с механическими рекультивациями, рекомендуется производить доочистку загрязненных территорий при помощи биопрепаратов на основе аборигенной микрофлоры, являющейся экологически безопасной по санитарно-эпидемиологическим нормативам и наиболее конкурентоспособной в плане очистки загрязненных территорий нефтепродуктами. Их использование позволит улучшить экологическую обстановку без нарушения природных условий. В качестве профилактических мер, предотвращающих загрязнение подземных вод нефтепродуктами, целесообразно производить периодически очистку природных сред при помощи биопрепаратов, которые также могут являться своего рода “фильтром”, разрушающим нефтепродукты на поверхности и предохраняющим попадание их в водоносные горизонты.

Опыт рекультивации загрязненных нефтью земель во многих регионах России показал достаточно высокую эффективность очистки при использовании бактериальных препаратов. В то же время, известно, что препараты, хорошо зарекомендовавшие себя в определенной обстановке, не всегда дают высокий ожидаемый результат при использовании в других регионах. По нашему мнению, причиной этого являются конкретные почвенно-эдафические факторы района проведения работ, а также конкуренция со стороны аборигенной микрофлоры.

Предложенный ранее метод бактериальной рекультивации нефтезагрязненного грунта, основанный на использовании аборигенной микрофлоры, может быть применен в условиях республики. Здесь на основе выявленной природной микрофлоры возможно получение бактериального препарата, об-

ладающего высокой конкурентной способностью и приспособленного для местных почвенно-экологических и климатических условий. Опытные образцы препарата, полученные нами в лабораторных условиях, эффективно разрушают нефть при концентрации до 45-50 г/л и температуре окружающей среды от +5 до +35 °С. В течение 70 суток эффективность очистки, как правило, достигает 85 % от исходного загрязнения. Препарат может быть использован как в жидком, так и в сухом виде. Для обработки 1 га поверхности почвы ориентировочно требуется 50 л раствора с плотностью бактериальных клеток 10^4 на 1 мл. Количество сухого препарата подсчитывается, исходя из концентрации бактерий в жидком состоянии.

Технология обработки территории определяется степенью ее загрязненности. На начальных стадиях загрязнения, когда степень его развития невелика, а загрязнению нефтепродуктами подвержен только почвенный слой, целесообразно использование простейших приемов – создание так называемого бактериального фильтра. Суть технического решения в этом случае заключается во внесении биопрепарата на дневную поверхность загрязненной территории. В качестве носителя биопрепарата могут быть использованы природные вещества, в том числе местного происхождения (глинистые минералы, целлюлоза и др.). Возможна как ручная, так и механизированная обработка территории. Необходимая степень очистки территории может быть достигнута в течение одного летнего сезона при наличии достаточного количества бактериальной культуры. В этом случае, препарат не только очищает загрязненные участки, но и выполняет профилактическую функцию по отношению к относительно чистым площадям.

При значительной степени загрязнения грунтов зоны аэрации и непосредственно подземных вод водоносных горизонтов микробиологические методы целесообразно использовать в комплексе с техническими мероприятиями, направленными на учет естественно- природного гидрогеодинамического режима подземных вод и создание условий, наиболее благоприятных для жизнедеятельности бактерий. В качестве вариантов таких мероприятий могут являться закачка препарата в зону сезонных колебаний уровней подземных вод, где при низком стоянии последних создается благоприятная аэробная обстановка, либо закачка в зону аэрации, искусственно созданную работой водопонижительных систем. В последнем случае откачиваемая вода после отделения нефтепродуктов и очистки микробиологическими методами может возвращаться в водоносный горизонт либо использоваться для технических нужд.

Естественно, что выбор вариантов, организация и проведение мероприятий, связанных с микробиологической рекультивацией водоносных горизонтов, загрязненных нефтепродуктами, в каждом конкретном случае требуют тщательной всесторонней проработки и предварительной постановки опытных работ. В целом же, проведенные исследования дают основание полагать,

что микробиологические методы в условиях Республики Хакасия могут быть широко использованы как для выявления, контроля и ликвидации существующего загрязнения подземных вод и почвы нефтепродуктами и нефтью, так и для предотвращения возможности его потенциального возникновения.

Заключение

Проведенные исследования показали, что в формировании состава подземных вод принимают участие как природные ландшафтно-климатические и геологические, так и антропогенные факторы.

Геоэкологическая устойчивость водоносных горизонтов четвертичных аллювиальных отложений предопределяется совокупностью естественно-природных и техногенных факторов, а качество воды в источниках водоснабжения зависит от соотношения участия источников формирования ресурсов, интенсивности эксплуатации и схемы размещения литотехнических систем водоснабжения.

Для водоносных горизонтов четвертичных аллювиальных отложений, являющихся стратегическим источником водоснабжения населения, наиболее значимо углеводородное загрязнение, степень которого определяется не только масштабами источника загрязнения, но и слабой защищенностью и характером фильтрационных свойств четвертичных отложений.

В процессах природного самоочищения подземных вод от углеводородного загрязнения основная роль принадлежит аэробным нефтеокисляющим и сапрофитным бактериальным сообществам, диапазон толерантности которых контролируется концентрацией нефтепродуктов и минерализацией подземных вод.

Проведенные эксперименты показали высокую деструктивную способность аборигенной микрофлоры почво-грунтов по отношению к нефти и ее дериватам. Из выращенной биомассы получены биопрепараты на основе глинистых и других сорбентов. При масштабных загрязнениях природных сред нефтепродуктами наряду с механическими видами рекультивации рекомендуется проводить доочистку загрязненных территорий при помощи биопрепаратов на основе аборигенной микрофлоры, являющейся экологически безопасной по санитарно-эпидемиологическим нормативам и наиболее конкурентоспособной в плане ремедиации загрязненных экосистем.

Учет особенностей строения водоносных горизонтов четвертичных отложений и формирования их водных ресурсов при обосновании схем расположения и режимов эксплуатации, а также реализация рекомендуемых мероприятий по профилактике, предотвращению и ликвидации техногенного углеводородного загрязнения с использованием аборигенной микрофлоры позволят повысить геоэкологическую устойчивость источников водоснабжения и улучшить экологическую обстановку.

Список работ автора по теме диссертации

1. Характеристика микробной составляющей подземных вод Республики Хакасия в условиях углеводородного загрязнения / Н.Г. Наливайко, Ю.С. Сыроватко, Е.М. Дутова, Д.С. Покровский // Вестник Томского государственного университета. – Томск: Изд-во ТГУ, - 2007. - № 300 (II). – С.190 - 194 (вклад автора 25 %).
2. Тимакова (Сыроватко), Ю.С. Влияние нефтяного загрязнения на экологическое состояние почвогрунтов и вод Абаканской АЗС // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Пятого Международного научного симпозиума им. акад. М.А. Усова. - Томск: Изд-во НТЛ, 2001. - С. 229 - 230.
3. Тимакова (Сыроватко), Ю.С. Микрофлора почвогрунтов Абаканской АЗС как природный механизм самоочищения их от загрязнения нефтепродуктами // Материалы Южно-Сибирской Международной научной конференции студентов и молодых ученых. - Абакан, 2001. Том II - С. 92-93.
4. Тимакова (Сыроватко), Ю.С. Микрофлора подземных вод и почвогрунтов территории Абаканской автозаправочной станции как природный механизм самоочищения от загрязнения природных сред нефтепродуктами // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Материалы VI Международной экологической студенческой конференции. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2001. - С. 203 - 205.
5. Тимакова (Сыроватко), Ю.С. Результаты выявления углеводородокисляющих бактерий в природных водах Обь-Томского междуречья в процессе экологического мониторинга // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Материалы VI Международной экологической студенческой конференции. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2001. - С. 201 - 202.
6. Тимакова (Сыроватко), Ю.С. Влияние нефтяного загрязнения на экологическое состояние почвогрунтов и вод Абаканской АЗС // Окружающая среда: Труды Всероссийской научно - практической конференции. - Тюмень, 2001. - С.
7. Тимакова (Сыроватко), Ю.С. Пути спасения и развития человечества в условиях современного планетарного экологического кризиса / Ю.С. Тимакова, Ю. Н. Шишкин // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Пятого Международного научного симпозиума им. акад. М.А. Усова. - Томск: Изд-во НТЛ, 2001. - С. 562 - 564 (вклад автора 50 %).
8. Сыроватко, Ю.С. Комплексный подход к освоению водных ресурсов и сохранению качества ресурсов пресной воды в условиях планетарного экологического кризиса XXI века // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Материалы VII Международной экологической студенческой конференции. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. - С. 103 - 104.

9. Сыроватко, Ю.С. Микробная реамедиація нефтезагрязненных почв (на примере территории Абаканской автозаправочной станции) // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Материалы VII Международной экологической студенческой конференции. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. - С. 169 - 171.

10. Сыроватко, Ю.С. Мониторинг углеводородокисляющих микроорганизмов в природных водах Обь-Томского междуречья как индикатора характера загрязнения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Седьмого Международного научного симпозиума им. акад. М.А. Усова.- Томск: Изд-во НТЛ, 2003. - С. 266 - 267.

11. Сыроватко, Ю.С. Микрофлора Апт-Альб-Сеноманских вод на примере Крапивинского месторождения нефти // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Седьмого Международного научного симпозиума им. акад. М.А. Усова.- Томск: Изд-во НТЛ, 2003. - С 267 - 268.

12. Formation of underground waters of alluvial quaternary deposits (by the example of republic Khakassia) / Формирование подземных вод аллювиальных четвертичных отложений (на примере Республики Хакасия) / G.M.Rogov, D.S. Pokrovsky, E.M. Dutova, Yu.S. Syrovatko // Научные основы сохранения водосборных бассейнов: Тезисы Международной конференции. – Улан - Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2004. - С. 77-78.

13. Сыроватко, Ю.С. Загрязнение нефтепродуктами подземных вод четвертичных отложений Республики Хакасия // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Двенадцатого Международного научного симпозиума им. акад. М.А. Усова.- Томск: Изд-во НТЛ, 2008. - С. 278 - 280.

Изд. лиц. № 021253 от 31.10.97. Подписано в печать
Формат 60x80/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс. Печать офсет.
Уч.-изд. л. 1 Тираж 100 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

