

## Проблемы утилизации отработанных геотермальных растворов

За последние десятилетия в мире накоплен опыт использования геотермальных ресурсов для получения тепловой и электрической энергии, минерального сырья, целей бальнеологии и др. Эксплуатация геотермальных месторождений сопровождается тепловым и химическим загрязнением атмосферы и гидросферы. Утилизация отработанных геотермальных растворов, содержащих широкий спектр химических соединений, является одной из актуальных проблем недропользования. В статье рассмотрены способы утилизации отработанного теплоносителя, применяемые на геотермальных месторождениях Камчатки. На основе геохимической оценки состава сбрасываемых в поверхностные водотоки отработанных геотермальных вод, по отдельным компонентам показана кратность превышения предельно допустимых концентраций, установленных для водоемов рыбохозяйственного значения. Повышение эффективности использования природных ресурсов – одна из основных задач природопользования. Извлечение минералов из геотермальных растворов – перспективное направление развития геотермальных технологий. В статье рассмотрены процессы и методы извлечения ценных химических соединений из гидротермального раствора, установлены преимущества по сравнению с традиционными химико-технологическими схемами. Рентабельность технологии очистки зависит не только от стоимости извлекаемого компонента и его концентрации в растворе, но и от уменьшения экологических платежей за сброс.

**Ключевые слова:** геотермальный раствор, химические соединения, воздействие на окружающую среду, очистка.

### Введение

В последние десятилетия во многих странах, не обеспеченных на десятки лет собственными углеводородными полезными ископаемыми, наблюдается рост доли тепловой и электрической энергии, полученной из нетрадиционных и возобновляемых источников, в том числе с использованием геотермальных систем за счет применения традиционных, бинарных и циркуляционных схем. На Камчатке интенсивно осваиваются геотермальные ресурсы. Геотермальную энергию получают на Мутновской, Верхне-Мутновской и Паужетской геотермальных станциях (ГеоЭС). В целях теплоснабжения с. Паратунка и п. Термальный Елизовского района используют ресурсы Паратунского месторождения, с. Эссо и п. Анавгай Быстринского района также обеспечены теплом за счет геотермальных ресурсов.

В 1950–1980-х гг. проведена масштабная геологическая разведка геотермальных ресурсов, в результате пробурены сотни километров скважин, изучены структуры месторождений, оценены теплоэнергетические запасы, в рамках возможностей тех лет получены данные о химическом составе геотермальных источников. Разведка геотермальных ресурсов сопровождалась минимизированными рекультивационными работами, в результате чего в настоящее время на геотермальных полях Камчатки можно наблюдать самоизливающиеся скважины с разрушенными временем и агрессивными средами оголовками. К негативному влиянию на окружающую среду при эксплуатации геотермальных месторождений можно отнести нарушение поверхности, воздействие на естественные геотермальные проявления, шумовую нагрузку, тепловое и химическое загрязнение атмосферы и гидросферы, а также биологические последствия (Белоусов, Белоусова, 2002). В настоящее время одной из актуальных проблем эксплуатации геотермальных месторождений является утилизация отработанных геотер-

мальных растворов. Наиболее эффективным методом утилизации принято считать обратную закачку (реинжекцию) отработанных растворов в породы геотермального резервуара, а очистка стоков экономически целесообразна только при комплексном использовании ресурса, получении дополнительной энергии или при извлечении из раствора ценного минерального сырья.

### Утилизация отработанных растворов на геотермальных месторождениях Камчатки

На Камчатке выполнена разведка и оценка 13 геотермальных месторождений. Балансовые запасы термальной воды – 80,63 тыс. м<sup>3</sup>/сут. и пароводяной смеси – 93,67 тыс. т/сут. В эксплуатации с целью добычи термальных вод находится ряд месторождений: Мутновское, Паужетское, Паратунское, Верхне-Паратунское, Анавгайское, Эссовское и др. Суммарный годовой водоотбор составляет 25,2 млн. м<sup>3</sup> (Яроцкий и др., 2007). Обзорная схема геотермальных месторождений Камчатки представлена на рисунке 1.

На Мутновском месторождении парогидротерм в настоящее время осуществляется промышленная эксплуатация Мутновской и Верхне-Мутновской геотермальных станций (установленная мощность 50 и 12 МВт соответственно). Проблема утилизации отработанного теплоносителя ГеоЭС решается обратной закачкой в породы геотермального резервуара. Эта схема применяется на многих месторождениях, так как позволяет стабилизировать работу геотермальной системы, минимизировать проблемы, возникающие вследствие превышения извлечения гидротермального раствора над естественным притоком воды. Обратная закачка позволяет поддержать давление в пласте, снизить риск опускания поверхности, возникновения оползней, ухудшения сейсмичности района, исчезновения естественных поверхностных проявлений (источни-

ков). Обратная закачка является решением экологических проблем при освоении геотермальных месторождений, однако применение данного способа ограничивается влиянием на эксплуатационные параметры геотермальной системы (Пашкевич и др., 2009; Pashkevich, 1996).

На Мутновской ГеоЭС ведутся работы по снижению негативного воздействия на окружающую среду, в том числе производственный экологический контроль, рыбохозяйственный мониторинг бассейна реки Фальшивая, работы по повышению эффективности очистных сооружений.

Другая схема реализована на Паужетской геотермальной станции (установленная мощность 11 МВт). Здесь на эксплуатационных скважинах установлены скважинные сепараторы, на станцию поступает пар, а водная фаза (сепарат) сбрасывается на грунт и в руч. Быстрый, приток р. Паужетка. Реинжекция осуществляется частично. При эксплуатации месторождения образуется значительный поверхностный поток термальной воды расходом более 15,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут, с температурой от 70°С до 120°С. В данном случае отсепарированная вода является сопутствующим продуктом и составляет технологические потери, сопровождающие добычу пара.

Отсутствие достаточного количества потребителей в п. Паужетка и значительная удалённость месторождения от п. Озерновский приводят к тому, что основной объём высокопотенциальных теплоэнергетических вод сбрасывается в поверхностные водотоки. Доля выработки электроэнергии составляет всего 4 % от потенциала добытого теплоносителя (Шулюпин, Чернев, 2012).

В настоящее время с целью повышения эффективности станции, а также уменьшения воздействия на окружающую среду реализуется проект создания би-нарного энергоблока мощностью 2,5 МВт. Таким образом, уменьшается негативная тепловая нагрузка на водные объекты, но сохраняется химическое воздействие, выражающееся в высоком содержании в сбросных водах В, Li, As. Некото-

рые химические соединения могут накапливаться в грунте, осадках и организмах. Учитывая рыбохозяйственное значение р. Паужетка, этот факт свидетельствует о дополнительных экологических рисках. В данном случае альтернативой реинжекции отработанного теплоносителя при достаточном технико-экономическом обосновании могла бы стать очистка геотермальных стоков от токсичных соединений, с утилизацией извлеченного материала.

Извлечение ценных химических соединений из геотермальных растворов является одним из перспективных направлений развития геотермальных технологий (Горбач, 2013). Совмещением энергетического и минерального производства повышается экономическая эффективность использования геотермальных ресурсов (Потапов и др.,

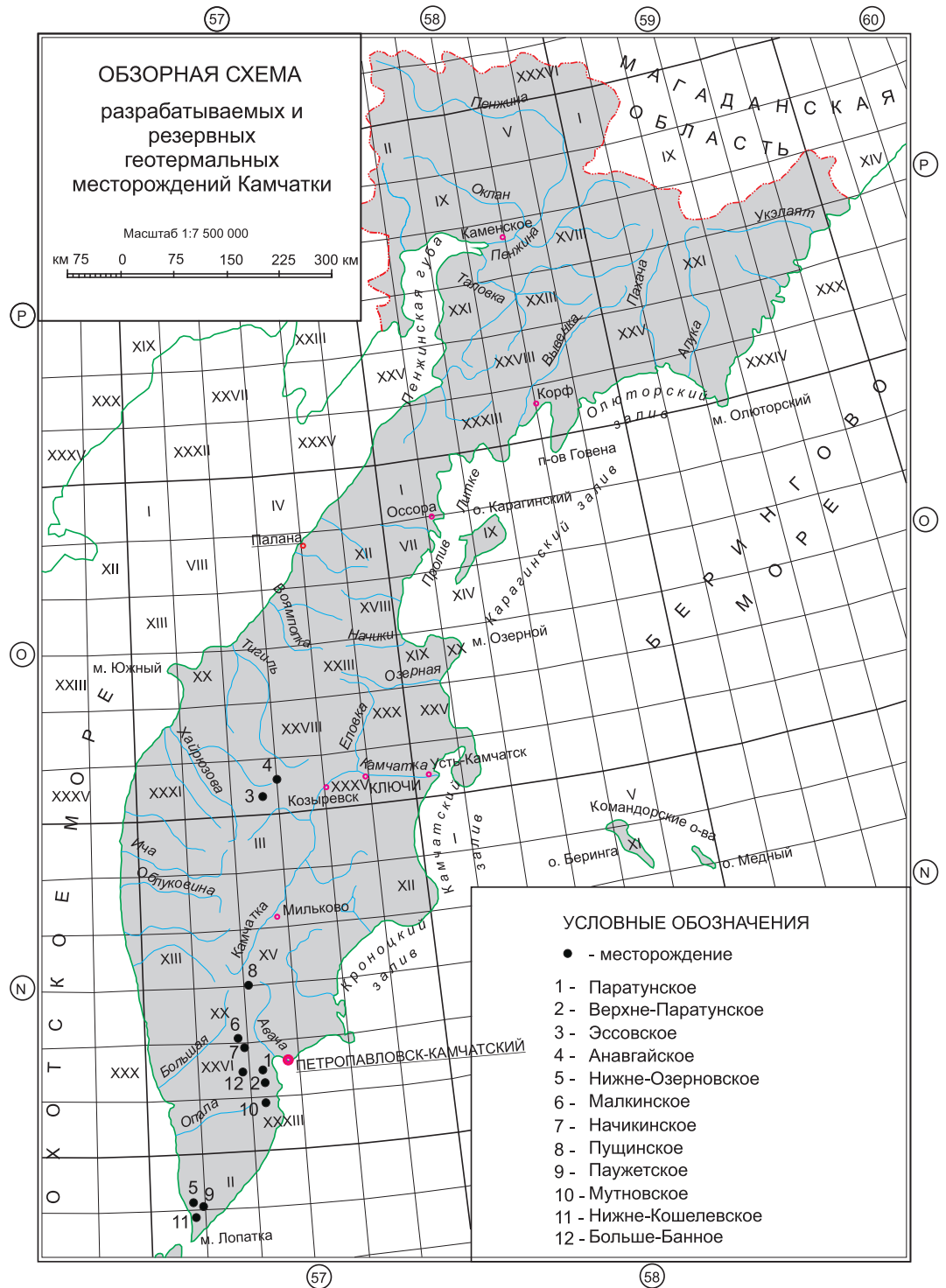


Рис. 1.

2010). В настоящее время рентабельность технологии очистки зависит не только от стоимости извлекаемого компонента и его концентрации в растворе, но и от уменьшения экологических платежей за сброс, при извлечении токсичных компонентов из раствора.

Паратунское месторождение в настоящее время используется для теплоснабжения с. Паратунка, п. Термальный, нужд Паратунской курортной зоны (более 30 групп потребителей). Объем использования термальных вод месторождения составляет более 6 млн. м<sup>3</sup> в год, со средней температурой воды 77°C. Отработанный теплоноситель после смешения с хозяйственно-бытовыми сточными водами сбрасывается в р. Паратунка – нерестилище лососёвых пород рыб, выше по течению от места сброса на Паратунском рыбозаводном заводе выращивают мальков кеты. Ниже по течению реки присутствует тепловое и химическое загрязнение соединениями В, As. В настоящее время выполняются работы по проектированию комплекса очистных сооружений. Проект теплоснабжения Елизовского района Камчатского края за счет ресурсов Паратунского и Верхне-Паратунского месторождений является одним из первоочередных геотермальных проектов (Свалова, 2009).

Села Быстринского района Эссо и Анавгай обеспечены тепловыми ресурсами Эссовского месторождения с суточным водоотбором –15,3 тыс. м<sup>3</sup>, со средней температурой 75°C и Анавгайского месторождения термальных вод при суточном водоотборе – 2,3 тыс. м<sup>3</sup>, с температурой 72°C (Яроцкий и др., 2007). Отработанный теплоноситель из системы теплоснабжения с. Эссо сбрасывается в р. Уксичан и р. Быстрая, с системы теплоснабжения с. Анавгай сток сбрасывается в р. Быстрая. В сточных водах присутствуют высокие содержания В, Li, As.

Выполненная геохимическая оценка состава сбрасываемых в поверхностные водотоки геотермальных вод различных геотермальных месторождений Камчатки показывает превышения предельно допустимых концентраций, установленных для водоемов рыбохозяйственного значения (ПДКрх). Показатели кратности превышения ПДКрх по некоторым компонентам и соединениям представлены в таблице 1.

Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ в последней редакции, вступивший в силу 01.01.2014 г., ужесточает требования природоохранного законодательства, исходя из недопустимости превышения нормативов допустимого воздействия на водные объекты

Месторождение	токс.			санитар.			санитар.-токс.		
	Li	Al	As	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Na	K	F	Cl	SO <sub>4</sub>
Анавгайское	36	2	12	3	2,3	-	2,5	-	-
Быстринское	45	-	5	12,5	3,5	-	2,5	2	-
Эссовское	15	-	2	5	1,7	-	3	-	5,5
Пушинское	3,0	-	-	10,5	12	4,8	-	4,5	4
Нальчевское	4,3	-	200	28	8,5	12	-	5,5	4,5
Паратунское	2	-	3	3	-	-	-	-	5,5
Верхне-Паратунское	8	200	120	25	-	23	-	-	5
Апачинские	13,5	-	-	11	-	-	2,5	-	-
Больше-Банное	-	-	10	-	2	1,6	10	-	4,5
Паужетское	37,5	-	-	54	8	7	-	5	-

Табл. 1. Кратность превышения ПДКрх по некоторым компонентам и соединениям в составе вод геотермальных месторождений Камчатки, сбрасываемых в реки.

и нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах. Ранее приказом Министерства природных ресурсов РФ № 333 от 17.12.2007 г. утверждена «Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей». В геотермальных растворах присутствуют химические соединения, которые при высоких температурах и давлении выщелачиваются из пород геотермальных месторождений и выносятся на поверхность в составе пароводяной смеси. В раствор входят соединения таких элементов, как Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, S, O, Cl, F, C, Si, H, N, B, Li, As в концентрациях, значительно превышающих ПДКрх (Приказ Федерального агентства..., 2010). В связи с этим возрастает необходимость в комплексном освоении геотермальных ресурсов, вносятся коррективы в развитие геотермальной теплоэнергетики. Пользователям недр с целью соблюдения природоохранного законодательства в скором времени придется задуматься о дополнении существующих технологических схем сооружениями очистки отработанных теплоносителей, возможно в ущерб себестоимости конечного продукта (электроэнергии) или даже рентабельности предприятия (Белов, 2012).

На геотермальных станциях всегда велась работа по снижению выбросов в атмосферу геотермальных газов; в настоящее время в связи с повышением требований актуализируется проблема утилизации геотермальных стоков. Разработка нормативов должна осуществляться с учетом суммарного дебита источников естественной разгрузки гидротермальных систем. Например, естественная разгрузка Паужетского гидротермального месторождения составляет около 100 л/с. Для того, чтобы исключить нарушение экологического равновесия, необходимо сохранить сброс токсичных соединений в бассейн р. Озерной строго в пределах естественной разгрузки месторождения. Разница между расходом сбрасываемого отработанного геотермального теплоносителя в условиях эксплуатации и естественной разгрузкой является для Паужетского и других гидротермальных месторождений тем количеством термальных вод, которое в целях сохранения экологического равновесия необходимо либо закачивать обратно, либо очищать перед сбросом.

## Комплексное использование отработанных геотермальных растворов

Одной из актуальных проблем природопользования является повышение эффективности использования природных сырьевых ресурсов, в том числе термоминеральных вод. Работы ряда научных учреждений в России позволяют создать химико-технологические схемы переработки гидроминерального сырья и расширить сферы применения полученных материалов. Накоплен опыт лабораторных и натурных исследований по извлечению ценных компонентов из термальных вод. Большинство технологических схем извлечения основываются на тепловых, гидромеханических, химических, массообменных процессах. Применяются следующие методы: отстаивание, коагуляция, флотация, мембранное фильтрование, ионно-обменная сорбция, хемосорбция, десорбция, кристаллизация, обработка кислотами, щелочами, сублимация, конденсация, выпаривание.

В мировой практике существуют примеры комплексного использования термальных вод, в минерально-сырьевом направлении экономически более эффективные, чем в теплоэнергетическом, однако для отнесения отработанных геотермальных теплоносителей к промышленным подземным водам необходимо, чтобы минимальные концентрации компонентов составляли, например, для калия (К) – 350 мг/л, бора (В) – 200 мг/л, лития (Li) – 10 мг/л, йода (I) – 18 мг/л и т.д. (Бондаренко, Куликов, 1984). Из эксплуатируемых месторождений Камчатки перспективен отработанный теплоноситель Паужетской ГеоЭС, в котором присутствует В с концентрацией, достигающей минимальное промышленное значение. Прогнозные ресурсы соединений В, Li, Rb, Cs Паужетского геотермального месторождения составляют (тонн в год):  $H_3BO_3$  – 2785,  $Li_2CO_3$  – 221;  $Rb_2CO_3$  – 9,2;  $Cs_2CO_3$  – 5,9 (Арсанова, 1974). Попутное извлечение этих компонентов при комплексном использовании геотермальных ресурсов Паужетского месторождения может оказаться рентабельным.

Существуют подходы к непосредственному использованию теплоносителя для концентрирования растворов в процессе выпаривания до значений, приемлемых для дальнейшего применения сорбционных или мембранных технологий (Шулюпин, Чернев, 2012). Перспективным направлением является развитие мембранных технологий извлечения: ультрафильтрации, нанофильтрации и обратного осмоса (Потапов и др., 2008). Для извлечения компонентов из раствора возможно применение сорбционных процессов. В основе лежит принцип избирательной сорбции ионов конкретных элементов или их комплексов (Belova, 2010). Применение сорбционных технологий существенно осложняется присутствием в растворе коллоидного  $SiO_2$ , так как частицы  $SiO_2$  загрязняют поверхность ионообменных материалов и препятствуют извлечению других химических соединений. С предварительного удаления коллоидного  $SiO_2$  начинается технологическая схема извлечения химических соединений из гидротермального раствора на многих высокотемпературных месторождениях в Новой Зеландии, США, Мексике, Исландии. В НИГТЦ ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский) разработаны способы извлечения  $SiO_2$  из сепарата Мутновской ГеоЭС, в том числе с применением мембранных технологий (Потапов и др., 2005). Получены золи и порошки  $SiO_2$ , являющиеся конкурентоспособными продуктами (Потапов и др., 2010).

Наибольший промышленный интерес извлечения представляют редкие и рассеянные элементы: В, Li, Rb, Cs и др., а также газообразные вещества: углекислый газ, радон и др.

## Выводы

В геотермальных растворах присутствуют химические соединения, которые при высоких температурах и давлении выщелачиваются из пород геотермальных месторождений и выносятся на поверхность в составе пароводяной смеси. В гидротермальный раствор входят соединения таких элементов, как Са, Mg, Na, K, Al, Fe, S, O, Cl, F, C, Si, H, N, В, Li, As в концентрациях, значительно превышающих ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДКрх). В то же время в геотермальных районах присутствует естественный геохимический

фон, также превышающий ПДКрх.

Геотермальные электростанции по условиям работы теснейшим образом связаны с гидрологическими и инженерно-геологическими условиями. Химический состав теплоносителя и концентрации элементов и соединений определяется геохимией пород месторождения, температурой и давлением, при которых происходит взаимодействие воды и породы. Последние особенно важны, поскольку очень часто именно они и определяют концентрации компонентов. Так как конкретные гидрологические и инженерно-геологические условия в комплексе в природе почти не повторяются, то геотермальным электростанциям свойственна индивидуальность. Однако и в геотермальной энергетике имеются общие черты, что позволяет создавать для нее некоторые типовые конструкции и предъявлять к ним общие обязательные требования. В настоящее время универсальных технологических схем очистки сточных вод ГеоЭС и утилизации извлеченного материала не существует, но актуальность работ по их разработке и внедрению очевидна.

Дальнейшие исследования могли бы сделать извлечение минеральных компонентов из отработанных геотермальных растворов жизнеспособной технологией. Преимущества извлечения минералов из геотермальных растворов по сравнению с традиционными химико-технологическими схемами: 1) повышение эффективности работы ГеоЭС, снижение температуры реинжекции и повышение возможности применения бинарных схем; 2) исходный геотермальный раствор является отходом энергопроизводства, извлечение минералов частично решает проблему его утилизации; 3) повышение комплексности использования геотермального теплоносителя, увеличение прибыли за счет совмещения энергетического и минерального производства, уменьшение платежей за сверхнормативный сброс.

## Литература

- Belova T.P. The Analysis of Sorption Extraction of Boron and Lithium from the Geothermal Heat-Carriers. *Proc. World Geothermal Congress. Indonesia*. 2010.
- Pashkevich R.I. On environmental aspects of geothermal development. *Geothermal Resources Council*. Portland, Oregon, GRC Transactions. Vol. 20. 1996. Pp. 241-243.
- Арсанова Г.И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей. Новосибирск: «Наука». 1974. 110 с.
- Белов Е.П. Проблемы геотермики Камчатки. *Горный вестник Камчатки*. 2012. № 1(19) С. 12-18.
- Белоусов В.И., Белоусова С.П. Природные катастрофы и экологические риски (на примере развития геотермальной энергетики). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ. 2002. 160 с.
- Бондаренко С.С., Куликов Г.В. Подземные промышленные воды. М.: Недра. 1984. 358 с.
- Горбач В.А. Анализ мирового опыта и научно-технических разработок в области извлечения химических соединений из гидротермальных растворов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013. № 9. С. 270-275
- Пашкевич Р.И., Чернев И.И., Шадрин А.В. Термогидродинамическое моделирование Мутновского месторождения парогидротерм. *Разведка и охрана недр*. 2009. № 7. С. 37-43.
- Потапов В.В., Горбач В.А., Кашпура В.Н., Мин Г.М., Кашутина И.А. Очистка теплоносителя геотермальных электрических станций мембранным методом. *Теплоэнергетика*. 2008. № 7. С. 59-64.
- Потапов В.В., Горбач В.А., Сердан А.А. Способ извлечения коллоидного кремнезема из гидротермального теплоносителя с пониженной концентрацией примесей. Патент РФ. № 2296103. 2005.

Потапов В.В., Зеленков В.Н., Кашпура В.Н., Горбач В.А., Мурадов С.В. Получение материалов на основе нанодисперсного кремнезема гидротермальных растворов. М.: РАЕН. 2010. 296 с.

Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Свалова В.Б. Комплексное использование геотермальных ресурсов. *Георесурсы*. 2009. №1 (29). С. 17-23.

Шулюпин А.Н., Чернев И.И. Проблемы и перспективы освоения геотермальных ресурсов Камчатки. *Георесурсы*. 2012. № 1(43). С. 19-21

Яроцкий Г.П., Алискеров А.А., Бурмаков Ю.А., Орлов А.А.

Минерально-сырьевой потенциал Камчатской области. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. унив. им. Витуса Беринга. 2007. 115 с.

### Сведения об авторе

*Владимир Александрович Горбач* – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук 683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30. Тел. +7(415) 249-54-35.

## Disposal of Exhausted Geothermal Solutions

*V.A. Gorbach*

Scientific Research Geotechnological Centre, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia  
E-mail: vgorbach@kscnet.ru

**Abstract.** Over the past decades, geothermal resources were used for thermal and electrical energy, mineral resources, balneology, etc. Operation of geothermal fields is accompanied by thermal and chemical pollution of the atmosphere and hydrosphere. One of the urgent problems is disposal of exhausted geothermal solutions containing a wide range of chemicals. The article describes the disposal of exhausted coolant used in geothermal fields in Kamchatka. Geochemical analysis of geothermal waters drained into the surface waters showed an excess of maximum permissible concentration by individual components established for fishery ponds. One of the main objectives of subsoil use is more efficient use of natural resources. Development of geothermal technologies is oriented on minerals extraction from geothermal solutions. The article deals with methods of recovering valuable chemicals from hydrothermal solution. Advantages over traditional chemical and technological schemes are established. Profitability of treatment technology depends not only on the value of extracted component and concentration in the solution, but also on the reduction of environmental charges for discharge.

**Keywords:** geothermal solution, chemicals, environmental impact, cleaning.

### References

Belova T.P. The Analysis of Sorption Extraction of Boron and Lithium from the Geothermal Heat-Carriers. *Proc. World Geothermal Congress*. Indonesia. 2010.

Pashkevich R.I. On environmental aspects of geothermal development. *Geothermal Resources Council*. Portland, Oregon, GRC Transactions. Vol. 20. 1996. Pp. 241-243.

Arsanova G.I. Redkie schelochi v termal'nykh vodakh vulkanicheskikh oblastey [Rare alkalis in the thermal waters of volcanic areas]. Novosibirsk: «Nauka» Publ. 1974. 110 p.

Belov E.P. Problemy geotermiki Kamchatki [Problems of Kamchatka geothermy]. *Gornyy vestnik Kamchatki* [Mining Bulletin of Kamchatka]. 2012. № 1(19). Pp. 12-18.

Belousov V.I., Belousova S.P. Prirodnye katastrofy i ekologicheskie riski (na primere razvitiya geotermal'noy energetiki) [Natural hazards and environmental risks (on example of the geothermal energy development)]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: «KGPU» Publ. 2002. 160 p.

Bondarenko S.S., Kulikov G.V. Podzemnye promyshlennye vody [Underground industrial water]. Moscow: «Nedra» Publ. 1984. 358 p.

Gorbach V.A. Analiz mirovogo opyta i nauchno-tehnicheskikh razrabotok v oblasti izvlecheniya khimicheskikh soedineniy iz gidrotermal'nykh rastvorov [Analysis of international experience and

scientific and technical developments in the field of extraction of chemical compounds from hydrothermal solutions]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy bulletin* [Mining Information-Analytical Bulletin]. 2013. № 9. Pp. 270-275.

Pashkevich R.I., Chernev I.I., Shadrin A.V. Termogidrodinamicheskoe modelirovanie Mutnovskogo mestorozhdeniya parogidroterm [Thermohydrodynamic modeling of the Mutnovsky stream and hydrotherm field]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and Protection of Mineral Resources]. 2009. № 7. Pp. 37-43.

Potapov V.V., Gorbach V.A., Kashpura V.N., Min G.M., Kashutina I.A. Ochistka teplonositel'nykh elektricheskikh stantsiy membrannym metodom [Cleaning of the geothermal power plant coolant by using membrane method]. *Teploenergetika* [Thermal Engineering]. 2008. № 7. Pp. 59-64.

Potapov V.V., Gorbach V.A., Serdan A.A. Sposob izvlecheniya kolloidnogo kremnezema iz gidrotermal'nogo teplonositel'ya s ponizhennoy kontsentratsiyey primesey [A method for recovering a colloidal silica from hydrothermal coolant having a reduced concentration of impurities]. RF Patent. № 2296103. 2005.

Potapov V.V., Zelenkov V.N., Kashpura V.N., Gorbach V.A., Muradov S.V. Poluchenie materialov na osnove nanodispersnogo kremnezema gidrotermal'nykh rastvorov [Preparation of materials based on nanosized silica of hydrothermal solutions]. Moscow: «RAEN». 2010. 296 p.

Приказ Федераль'ного агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Order of the Federal Fisheries Agency of 18.01.2010, № 20 «On approval of water quality standards fishery water bodies, including the standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies»]

Svalova V.B. Complex use of geothermal resources. *Georesursy* [Georesources]. 2009. № 1(29). Pp. 17-23. (In Russian).

Shulyupin A.N., Chernev I.I. The problems and prospects of Kamchatka geothermal resource development. *Georesursy* [Georesources]. 2012. № 1(43). Pp. 19-21. (In Russian).

Yarotskiy G.P., Aliskerov A.A., Burmakov Yu.A., Orlov A.A. Mineral'no-syr'evoy potentsial Kamchatskoy oblasti [Mineral resource potential of the Kamchatka Region]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: «Izd-vo Kamchatskogo gos. univ.» Publ. 2007. 115 p.

### Information about authors

*Vladimir Gorbach* – Cand. Sci. (Tech.), Deputy Director for Science, Scientific Research Geotechnological Centre, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences.

Severo-Vostochnoe шоссе, 30, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia, 683002. Tel. +7(415) 249-54-35.