

**РЕАКЦИЯ РЕЧНОЙ БЕНТОФАУНЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ
ТЕМПЕРАТУРЫ И ХИМИЗМА ВОДЫ В ХОДЕ
ДОЛГОВРЕМЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СБРОСУ
ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД
(Р. ФАЛЬШИВАЯ, ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)**

Ю.В. Сорокин

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(ВНИРО), ул. В. Красносельская, 17, Москва, 107140, Россия. E-mail: sorokura@yandex.ru*

В процессе длительного сброса геотермальных вод в р. Фальшивая установлены химический состав, интенсивность и дальность воздействия загрязнения. Оценена реакция речного бентоса в верхнем течении реки. При максимальных концентрациях происходит деградация донного сообщества. На удаленных участках русла бентос полностью не восстанавливается, исчезают свойственные данному биотопу виды, а основные доминанты, наоборот, многократно увеличиваются в общей численности и биомассе относительно исследований за прошлые годы.

**RIVER BENTHOS REACTION ON WATER TEMPERATURE AND CHEMISM
CHANGES IN THE PROCESS OF LONG TERM GEOTHERMIC WATER-FAULT
EXPERIMENT (FALSHIVAIA RIVER, SOUTH-EASTERN KAMCHATKA)**

Yu.V. Sorokin

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), V.Krasnoselskaya Str. 17,
Moscow, 107140, Russia. E-mail: sorokura@yandex.ru*

In the process of long term fault of the geothermal flux in the Falshivaya river the chemical compound, intensity and range of pollution influence were determined. River benthos reaction in the upper part of the river basin is appreciated. At the maximal concentration there is a degradation of river-bad community. On the removed sites of a river channel benthos completely is not restored, peculiar to biotope species are disappeared, and the basic dominants on the contrary repeatedly increase in an general number and a biomass concerning researches for the last years.

Использование гидротермальных ресурсов является одним из приоритетных направлений энергетики Камчатки. Развитие геотермальной энергетики на полуострове началось со строительства в 1966 г. Паужетской ГеоТЭС мощностью до 20 МВт. В 2001 г. закончилось строительство Мутновской ГеоЭС мощностью 50 МВт.

Территориально Мутновская ГеоЭС располагается на водосборе рек Фальшивая и Жировая, большей частью в непосредственной близости от многочисленных истоков р. Фальшивая. В процессе эксплуатации Мутновского месторождения парогидротерм применяется технология обратной закачки отработанного носителя в скважины реинжекции. Но в последнее время возникает проблема выхолаживания подземного геотермального резервуара, что приводит к уменьшению потенциальной выработки энергии, а значит к потере экономической эффективности станции. В связи с этим остро встал вопрос об иных способах удаления отработанного теплоносителя. Таких способов может быть всего

два – обратная закачка отработанного теплоносителя в подземные водоносные горизонты, которые не связаны с питающим станцию геотермальным резервуаром, или сброс геотермальных вод в р. Фальшивая.

В 2006 г. был согласован временный экспериментальный сброс неочищенного теплоносителя в объеме 150 м³/ч. с Мутновской ГеоЭС. Сброс осуществлялся в два этапа – краткосрочно в течение 2 недель с 15.08 по 02.09.2006 г. и долгосрочно – на протяжении 10 мес с 02.11.2006 г. до 02.09.2007 г.

Цель настоящей статьи – оценить воздействие сброса отработанного теплоносителя на речной макрозообентос. Поставленные задачи:

- дать характеристику химического состава сбрасываемых вод;
- оценить интенсивность загрязнения и дальность его распространения;
- оценить реакцию речного бентоса на загрязнение сточными водами.

Материал и методика

Река Фальшивая берет начало со склонов Мутновского вулкана и близлежащих сопков, образуя глубокие каньоны, и впадает в одноименную бухту Тихого океана. Площадь водосбора реки – 191,8 км², длина – 31 км, крупнейший приток – р. Левая Фальшивая (12 км), всего притоков более 60. Общая совокупная длина всей речной системы – 144 км. В верхнем течении р. Фальшивая (высотная зона 500–1000 м над ур.м.) протекает по глубокому каньону и отличается крутым падением русла (100 м и более на 1 км продольного профиля реки). Дно сложено исключительно крупнокаменным необкатанным и слабообкатанным грунтом (валунником). Межвалунное пространство почти на всех участках русла плотно заполнено наносами продуктов склоновой эрозии. Многочисленные пороги и водопады на выходах скальных пород являются отличительной чертой верховий р. Фальшивая и ее многочисленных притоков. Пороги высотой 1–2 м и более в основном русле р. Фальшивая начинают встречаться с отметки 520 м над ур.м. Водопады высотой 10 м и более характерны для высотной зоны 650–800 м над ур.м. и отмечаются в основном на горных притоках (р. Правая Фальшивая, руч. Перевальный и др.). Мутновское месторождение парогидротерм простирается от северного подножия и склона влк. Мутновский в верховьях р. Фальшивая до верховьев р. Жировая (рис. 1).

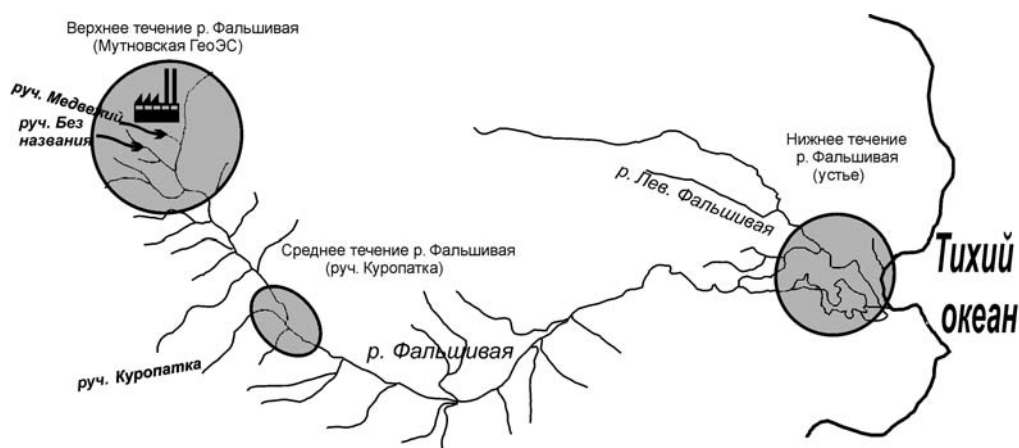


Рис. 1. Схема р. Фальшивая и ее притоков, области исследований за 2001–2002 и 2005–2007 гг.

Верховья р. Фальшивая исследовались в течение 5 лет, в 2001–2002 и в 2005–2007 гг. Участок исследований находился в диапазоне высот 915–495 м над ур.м. Дополнительно

Таблица 1

Работы в басс. р. Фальшивая за периоды 2001–2002 и 2005–2007 гг.

Научно-исследовательские работы	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
Бентос (пробы)	64	5	3
Общий хим. состав (пробы)	44	6	4
Элементарный хим. состав (пробы)	64	6	4
Гидрологические посты	6	4	5

ный химический состав воды, также на период работ были организованы гидрологические посты в количестве 15, где периодически проводились измерения температуры, pH, мутности, расхода воды и т. д.

В верхнем течении р. Фальшивая станции исследований располагались выше и ниже места сброса и устьев фоновых притоков (рис. 2). В 2007 г. за фоновую станцию был принят участок русла, расположенный выше сброса геотермальных вод. Эксперимент по оценке воздействия сброса геотермальных вод на речной бентос был поставлен на участке русла р. Фальшивая длиной около 100 м от места сброса до небольшого левого притока – чистого ручья (рис. 3). На данном полигоне выбрано 8 станций, различающихся по гидрологическим условиям в результате разбавления горячих вод: 4 станции вдоль правого берега, где концентрация сепарата постепенно снижается, и 4 вдоль левого берега, где его концентрация постепенно увеличивается. Реакция донного населения на факт долговременного сброса анализировалась также на 1,5-километровом участке русла. Гидробиологические пробы были отобраны на 200, 400, 500, 700, 1200 и 1500 м ниже по течению от точки стока (рис. 2).

Все гидрологические работы проводились по стандартным методикам (Наставления..., 1972; Васильев, Шмидт, 1987). Скорость течения измеряли с помощью вертушки с микрокомпьютером ИСП-1.

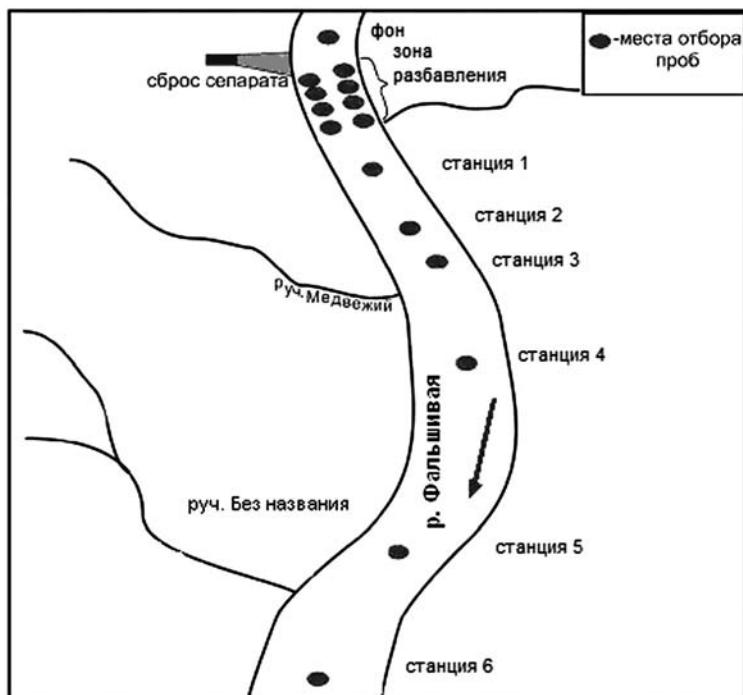


Рис. 2. Схема расположения станций исследований в русле р. Фальшивая, 2007 г.

были проведены работы в среднем (2006, 2007 гг.) и нижнем течении (2006 г.). За период исследований (табл. 1) в русле р. Фальшивая было отобрано 72 бентосные пробы, 54 пробы воды на общий химический анализ и 74 пробы на элементарный

Температуру (°C) и pH воды измеряли с помощью портативного измерителя фирмы Hanna instruments. Через каждые 5 сут работы прибор калибровали фирменными буферными растворами.

Химический состав воды определяли атомно-эмиссионным методом ИСП в химической лаборатории Александровской опытно методической экспедиции (Лицензия РОСС гл. 000.514146 от

21 июля 2003 г.). На месте пробы воды объемом 100–150 мл фиксировали азотной кислотой в соотношении 1:100 и герметично упаковывали. После перевозки пробы хранили при температуре 2 °C. Результаты химического анализа воды сравнивали с нормативными показателями для рыбохозяйственных водоемов (Перечень..., 1999).

Гидробиологические работы включали проведение количественных бентосных съемок, определение таксономического состава, численности и биомассы. Сбор бентоса проводили двумя способами: бентосборником конструкции В.Я. Леванидова с площадью захвата 0,12 м² в 2001 и 2002 гг. и площадью 0,0625 м² в 2005–2007 гг., а также сбором организмов с отдельных камней методом Шредера–Жакина. Проводили сбор разноразмерных камней на участке реки, каждый из которых вынимали из воды в сачок и помещали в ведро. Камни тщательно обмывали, смыв фильтровали через сачок и фиксировали. При пересчете собранных животных на площадь дна учитывали площадь проекции камней. Для этого камни укладывали на бумагу, таким образом, как они лежали на грунте, и обводили их карандашом. Затем проекции камней вырезали и взвешивали. Зная массу 1 см² бумаги, определяли площадь проекции (Методические рекомендации..., 2003). Отобранные пробы были зафиксированы 4%-ным формалином.

На месте сбора бентоса определяли координаты по спутниковому приемнику, температуру воды, глубину, скорость течения, характер грунта.

Дальнейшая обработка собранного гидробиологического материала проводилась в камеральных условиях по стандартным методикам (Тиунова, 2003), все представители донного сообщества по возможности были определены до вида.

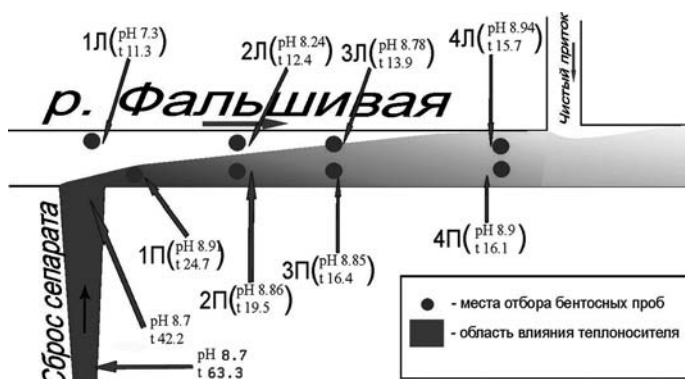


Рис. 3. Места отбора гидробиологических проб на исследуемом полигоне и распределение воздействия сепарата по мере разбавления

Результаты и их обсуждение

Сброс горячих геотермальных вод в месте впадения существенно изменяет гидрологические и гидрохимические показатели р. Фальшивая. Так, в августе 2007 г. на станции в 100 м ниже точки стока геотермальных вод сепарат нагревал речную воду на 8 °C и изменял pH с 7,5 до 9,0. Показатели приближались к фоновым (температура постепенно падала, pH уменьшался до 7,5) только через 3 км ниже сброса.

Долговременный сброс отработанного теплоносителя в реку, осуществлялся в районе станции по правому берегу каньона. Достигнув реки, сепарат сохранял температуру около 40 °C (рис. 3). В августе 2007 г. расход в реке в месте сброса составлял 0,17 м³/с. Соотношение сбрасываемого сепарата и воды в реке составляло 1/4.

В геотермальных водах в высоких концентрациях содержались 8 химических элементов (табл. 2). Судя по их концентрации в нижележащих створах, ПДК по этим элементам,

Кратность превышения рыбохозяйственных ПДК химических элементов, обнаруженных в сепарате и вдоль русла р. Фальшивая (24.08.2007 г.)

Элементы	Сепарат	Фон	Станция 1	Станция 3	Станция 5	Станция 6
F	80	2	13,8	11,8	11,06	9,02
Al	41,55	7,23	21,33	5,98	5,95	9,75
As	104,90	Нет	30,30	24,32	22,64	18,42
B	32,54	Нет	9,02	7,41	6,95	5,52
Li	37,55	Нет	7,61	5,60	5,28	4,16
Mo	81,00	Нет	22,00	18,00	15,00	10,00
S	7,66	Нет	2,21	1,89	1,81	1,52
Sb	9,40	Нет	3,58	2,77	2,36	1,73

кремнезема, который может частично выпадать в осадок и образовывать плотный слой «кремневки» на грунте (Потапов, Сердан, 2003).

За период исследований 2001–2007 гг. в р. Фальшивая обнаружено 64 таксона донных беспозвоночных. Основную роль в формировании бентоса играют хирономиды двух подсемейств (*Diamesinae* и *Orthocladiinae*) – 39 видов, также встречаются личинки 6 семейств других двукрылых (*Psychodidae*, *Limoniidae*, *Tipulidae*, *Simuliidae*, *Ephydridae*, *Empidiidae*). Среди первичноводных беспозвоночных животных обычны олигохеты, нематоды, водяные клещи и планарии рода *Polycelis*.

В ходе эксперимента по сбросу сепарата со скоростью 150 м³/ч было установлено, что его полное перемешивание с речной водой по поперечному сечению реки происходит через 100 м ниже точки сброса (на уровне четвертых станций), при этом биотопические условия на правой и левой станции выравниваются. Разбавление сточных вод на 100-метровом участке хорошо видно по температуре и рН (см. рис. 3). В точке 1П, где концентрации сточных вод максимальны, на грунте наблюдаются налет «кремневки», бентос представлен единично только двумя видами организмов (табл. 3, 4), вероятно занесенных с верхних участков реки. Далее по правому берегу по мере разбавления сточных вод со-

Таблица 3

Изменение видового состава и количественных характеристик бентоса на исследуемом экспериментальном участке р. Фальшивая

Таксон	1П		1Л		2П		2Л		3П		3Л		4П		4Л	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Oligochaeta																
Naididae indet.	-	-	135	0,01	178	0,01	-	-	239	0,01	-	-	-	-	-	-
Enchytraeidae indet.	-	-	-	-	36	-*	-	-	87	-*	-	-	-	-	-	-
Insecta																
Ephemeroptera																
Baetidae																
Baetis bicaudatus Dodds.	-	-	58	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plecoptera																
Perlodidae indet Juv.	-	-	19	0,13	-	-	-	-	-	-	18	0,06	-	-	15	0,07
Diptera																
Simuliidae																
Prosimulium ventosum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	0,03	-	-

кроме Al, высокие концентрации которого объясняются природными причинами и являются особенностью района, были превышены в несколько раз. Также отработанный теплоноситель значительно снижал прозрачность воды в реке, за счет вноса коллоидного

Окончание табл. 3

Psychodidae indet.	-	-	19	-*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Empididae																
Chelifera sp.	-	-	19	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ephydridae																
Parydra pusilla	13	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-*
Chironomidae																
Diamesinae																
Diamesa gregsoni Edw.	91	-*	1614	0,95	732	0,34	1952	1,52	2025	1,55	1966	1,12	1991	1,65	2889	1,60
D. davisii Edw.	-	-	-	-	-	-	130	0,06	329	0,17	247	0,07	-	-	311	0,14
D. steinboeckii Goetgh.	-	-	-	-	-	-	-	48	0,01	-	-	58	0,05	125	0,04	
D. gr. insignipes	-	-	668	0,95	121	0,07	347	0,19	425	0,39	491	0,33	322	0,30	374	0,33
Orthoclaadiinae																
Diplocladius cultriger Kieff.	-	-	1102	0,35	71	0,02	552	0,1	43	0,01	54	0,01	50	0,01	75	0,02
Orthoclaadius (M.) roussellae Sopenis	-	-	271	0,44	-	-	55	0,17	174	0,29	269	0,4	251	0,45	150	0,27
Orthoclaadius (E.) frigidus Zett.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	0,02	-	-
Chironomidae pupae	-	-	155	0,35	71	0,09	239	0,56	370	0,69	90	0,17	201	0,33	165	0,23

Примечание. * означает биомассу < 0,01 г/м²; 1 – численность, экз./м², 2 – биомасса, г/м².

общество постепенно восстанавливалось. Около 15 % численности составляли олигохеты, появлялся устойчивый доминант – *Diamesa gregsoni*, как наиболее толерантный вид к термальным загрязнениям. Следующие правобережные бентосные пробы сохраняли тенденцию увеличения численности животных, однако через 100 м (на станции 4П) донное сообщество полностью не восстанавливалось относительно фоновых условий, принятых по фаунистической ситуации на станции 1Л. В донном сообществе на станции у левого берега с минимальным техногенным воздействием встречены не только основные виды хирономид, обычные для данного района, но и представители поденок, веснянок, двукрылых (Simuliidae, Psychodidae, Empididae).

Ниже по течению фауна левобережных участков реки, где концентрация теплоносителя постепенно увеличивается, заметно деградирует. В первую очередь исчезают представители мошек, поденок, веснянок и пр., а по численности основным доминантом, так же как и по правому берегу, становятся личинки хирономид *D. gregsoni*. Остальные виды заметно регрессируют по показателям численности и биомассы. Интересно отметить, что плотность населения *D. gregsoni* при повышении концентрации сепарата в речной воде, наоборот, несколько увеличивается.

Таким образом, при увеличении концентрации сепарата в речной воде наблюдается снижение общей численности, биомассы и таксономического разнообразия макрозообентоса. Наиболее толерантны к данному виду техноген-

Таблица 4

Численность (N, экз./м²), биомасса (B, г/м²) и количество таксонов (n, шт.) на станциях р. Фальшивая в пределах исследуемого полигона

Станция	N	B	n
1П	104	0,01	2
1Л	4060	3,41	9
2П	1209	0,53	5
2Л	3274	2,6	5
3П	3740	3,12	8
3Л	3134	2,16	6
4П	2911	2,84	7
4Л	4118	2,69	8

Окончание табл. 6

Таксон	Фон		Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4		Станция 5		Станция 6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Diptera														
Empididae														
Chelifera sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	0,01	37	-*
Ephydriidae														
Parydra pusilla	-	-	-	-	28	0,01	14	-*	-	-	-	-	-	-
Simuliidae														
Prosimulium ventosum	11	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	12	0,01	-	-
Gymnopaia frontatus	11	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chironomidae														
Diamesinae														
Diamesa gregsoni Edw.	6220	2,43	3921	2,91	2190	1,56	2015	0,92	1153	0,66	884	0,42	110	0,04
D. davisi Edw.	320	0,20	-	-	1064	0,67	816	0,53	4465	3,14	3933	2,75	6924	3,61
D. steinboecki Goetgh.	320	0,13	93	0,05	-	-	-	-	860	0,53	320	0,17	285	0,09
D. gr. insignipes	1031	0,99	534	0,46	42	0,04	135	0,07	74	0,10	107	0,17	22	0,03
Orthoclaadiinae														
Diplocladius cultriger Kieff.	53	0,01	-	-	-	-	14	-*	14	0,01	-	-	-	-
Eukiefferiella gr. claripennis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1124	0,22	502	0,08
Eukiefferiella gr. brehmi	32	0,01	-	-	292	0,03	14	-*	362	0,09	187	0,02	37	0,01
Orthocladus sp. 1	-	-	32	0,01	42	0,01	27	0,04	111	0,06	47	0,03	37	0,01
O. (M.) roussellae Sopenis	937	2,2	371	0,83	56	0,02	41	-*	42	0,04	12	-*	-	-
O. (E.) frigidus Zett.	11	0,01	16	0,01	28	0,01	41	0,02	-	-	47	0,05	-	-
Chaetocladius gr. piger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-*	-	-
Chironomidae pupae	149	0,27	145	0,26	97	0,09	55	0,06	570	0,63	504	0,45	465	0,46

Примечание. * означает биомассу < 0,01 г/м²; 1 – численность, экз./м², 2 – биомасса, г/м²

Нижнее течение реки принимает в себя ручей Медвежий, который не вносит существенных изменений в гидрологический и гидрохимический режим реки. Однако на станции 4, которая располагается на 200 м ниже слияния реки с ручьем, донное сообщество количественно увеличивается более чем вдвое. Основополагающая роль в формировании донного сообщества также принадлежит хирономидам. Помимо них обнаружены только мелкие олигохеты сем. Naididae, составляющие около 4 % общей численности и 1 % биомассы. Несмотря на то что встреченные в биотопах выше по течению личинки *D. davisi* были немногочисленны, а порой даже единичны, на станции 4 они являются доминантными – более 50 % от общей численности и биомассы. Также к роду *Diamesa* относятся субдоминанты этой станции – *D. gregsoni* и *D. steinboecki*, в сумме достигающие до 25 % от общей численности и биомассы. В 500 м ниже по течению на станции 5 структура сообщества существенно не изменялась (по плотности заселения, биомассе, числу таксонов и доминирующим видам). Среди единичных можно отметить представителей двух видов отряда двукрылых – *Chelifera sp.* (толкунчики) и *Prosimulium ventosum* (мошки).

Примерно в 1,5 км от места сброса, где река принимает в себя ручей «Без названия», расположена станция 6. На этом участке русла в составе донного населения сохранялось абсолютное преобладание хирономид – около 99 % и основным доминантом также оста-

валась *D. davisii*, составляющая до 80 % от общей численности и биомассы. Среди субдоминантов можно выделить *D. steinboeckii* и *Eukiefferiella* gr. *claripennis*, которые в сумме вносят около 10 % и 4 % в общую численность и биомассу. Также на данной станции были встречены Naididae, Nematoda, *Chelifera* sp.

Помимо того, что сток отработанного теплоносителя на всем участке исследований однозначно снижал численность и биомассу (особенно на первых трех станциях), а также видовое разнообразие речного бентоса, также долговременный сброс сточных вод в реку значительно изменил структуру сообщества. Практически полностью исчезли представители Ephemeroptera, Plecoptera, Simuliidae, Psychodidae и Turbellaria. Современный бентос

Таблица 7

Изменение максимальной плотности (экз./м²) населения доминантов на участке русла р. Фальшивая от места сброса до станции 6, за период 2001–2007 гг.

Таксон	2007 г.	2006 г.	2005 г.	2002 г.	2001 г.
<i>Diamesa davisii</i>	6924	622	217	700	167
<i>D. gregsoni</i>	3921	2181	464	355	183
<i>Eukiefferiella</i> sp.	1486	347	558	50	309
Сем. Naididae	1054	42	-	12	8

р. Фальшивая основан 4 таксонами беспозвоночных животных: *D. davisii*, *D. gregsoni*, *Eukiefferiella* sp. и Naididae indet., которые составляют около 90 % численности всего макрозообентоса. Относительно прошлых лет плотность представителей вышеотмеченных таксонов увеличилась в 5–15 раз (табл. 7).

В измененных речных условиях способны развиваться только токсикорезистентные хирономиды и олигохеты. Сброс сепарата для них способствовал лучшему размножению и росту представителей этих видов, вероятно, за счет общего повышения температуры реки на данном участке.

Выводы

1). При слиянии с речной водой отработанный теплоноситель существенно изменяет ее температуру и pH. В 100 м ниже места сброса в результате влияния горячего сепарата температура в реке увеличивалась в августе 2007 г. на 8–14 °C, а pH – на 2 ед. Геотермальные воды вносят в высоких концентрациях 8 химических элементов F, Al, S, Sb, As, B, Li и Mo; техногенное превышение рыбохозяйственных ПДК по As и Mo прослеживалось более, чем на 6-километровом участке реки.

2). На 100-метровом участке русла от места сброса до полного перемешивания сепарата с речной водой определена реакция речной бентофауны на изменение условий обитания. Сброс оказывает губительное воздействие на фауну. При максимальных концентрациях сепарата в речной воде бентос представлен единичными экземплярами двух видов животных, вероятно занесенных туда с участков, расположенных выше по течению. По мере разбавления сточных вод сообщество постепенно восстанавливается, однако по сравнению с фоновым разнообразием полного восстановления не происходит. В первую очередь, исчезают поденки и веснянки, остальные виды заметно регрессируют по численности и биомассе. Наиболее толерантный вид к воздействию геотермальных вод *D. gregsoni*, личинки которого доминируют на протяжении всего экспериментального участка.

3). На 1,5-километровом отрезке русла от места сброса сепарата до точки ниже устья руч. «Без Названия» реакция бентоса на содержание сточных вод в потоке заключается в почти полном исчезновении представителей Ephemeroptera, Plecoptera, Simuliidae, Psychodidae и Turbellaria, а также в снижении общей численности и биомассы в 2 раза.

4). В результате долговременного 10-месячного сброса геотермальных вод в бентосе верхнего течения р. Фальшивая около 90 % численности личинки хирономид *D. davisii*,

D. gregsoni, *Eukiefferiella* sp., а также Naididae indet. Относительно прошлых лет плотность представителей вышеотмеченных таксонов увеличилась в 5–15 раз.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность заведующему лабораторией воспроизводства лососевых рыб ВНИРО Леману В.Н., старшему гидрогеологу ОАО Геотерм И.И. Черневу и гидрогеологу ОАО Геотерм Н. Романову; м. н. с. КамчатНИРО А.В. Улатову за помощь в проведении полевых работах.

Литература

- Васильев А.В., Шмидт С.В. 1987. Водно-технические изыскания. Л.: Гидрометеиздат. 360 с.
- Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России 2003: Методическое пособие. М.: ВНИРО. 95 с.
- Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. 1972. Вып. 6, ч. 2. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. Л.: Гидрометеиздат. 147 с.
- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. 1999. М.: ВНИРО. 303 с.
- Потанов В.В., Сердан А.А. 2003. Физико-химические характеристики коллоидного кремнезема в гидротермальном растворе // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. № 2.
- Тиунова Т.М. 2003. Методы сбора и первичной обработки количественных проб. Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России. М.: ВНИРО. С. 5–13.