

УДК 632.15

ЗАГРЯЗНЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТАМИ РЕКИ КАМЧАТКИ

© 2024 г. И. П. Блоков^{а, *}, Е. А. Васильева^{а, **}

^а Университет Адам
Бишкек, 720010 Кыргызская Республика

* e-mail: ivan.blokov@gmail.com

** e-mail: valyon@bk.ru

Поступила в редакцию 14.03.2023 г.

После доработки 14.03.2023 г.

Принята к публикации 25.08.2023 г.

В 2001–2002 гг. загрязнение нефтепродуктами замыкающего створа р. Камчатки очень быстро увеличилось. В течение девяти лет из десяти в период с 1992 по 2001 г. нефтепродукты там не определялись, а с 2003 г. ежегодно переносимая их масса стала превышать 2.5 тыс. т. Поэтому авторы проанализировали доступные интегральные данные о загрязнении этой реки, а также организовали скрининговое исследование загрязнения ее притоков. В результате подтвердилась достоверность предположения о скачкообразном росте: загрязнение в 1992–2001 гг. было многократно ниже, чем в 2002–2021 гг. Перенос через замыкающий створ вырос с <1500 до 6400 т в год (среднее значение). Это загрязнение обеспечивается большей частью притоков на значительной протяженности реки. Проведенные натурные измерения позволяют предположить, что общее попадание нефтепродуктов в р. Камчатку может достигать 30–40 тыс. т в год. Исследование воздействия одной затампонированной разведочной скважины показывает, что это — источник нефтяного загрязнения. Количество выдаваемых разрешений на разведочное бурение в одном из районов, значительная часть которого расположена в бассейне р. Камчатки, за 28 лет достоверно коррелирует с массой нефтепродуктов, переносимых через замыкающий створ. Поэтому попадание нефти в воду из разведочных скважин, возможно, — одна из основных причин или основная причина скачкообразного роста загрязнения. Такие результаты удалось получить при нескольких интегральных подходах, среди них эффективный — установление взаимосвязи между “естественным” и “административным” показателями. Для того чтобы сократить загрязнение одной из крупнейших нерестовых рек России, требуется продолжить изучение, провести картирование его основных источников и в дальнейшем ликвидировать их.

Ключевые слова: Камчатка, загрязнение, нефтепродукты, скважина, разведочное бурение.

DOI: 10.31857/S0321059624010047 **EDN:** EEJHNL

ВВЕДЕНИЕ

В реках России повышенные концентрации нефтепродуктов наблюдаются нередко. В их ряду особенно выделяется р. Камчатка. На ее замыкающем створе рассчитанная за 2002–2021 гг. Средняя концентрация нефтепродуктов была >0.25 мг/л, т. е. 5 ПДК. В этот период, даже в год, когда переносилась наименьшая масса нефтепродуктов, средняя концентрация была >0.1 мг/л, т. е. 2 ПДК. А максимальные зафиксированные концентрации нефтепродуктов, наблюдавшиеся на р. Камчатке в районе п. Ключи (замыкающий створ), достигали 201 ПДК [11] — 10 мг/л. Надо отметить, что загрязнение нестабильно, в разные периоды концентрация могла быть и значительно меньше, и значительно больше. А средняя концентрация показывает общий уровень загрязнения реки.

Задачей исследования было в первую очередь установление распространенности нефтезагрязнения и скрининговый поиск возможных источников.

НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ

Воздействие нефтепродуктов

Нефтепродукты, находящиеся в окружающей среде, негативно действуют на все живые организмы. Однако наиболее серьезному воздействию подвергаются гидробионты на ранней стадии развития. Это проявляется в повышенной гибели, аномалиях, нарушении развития икринок и личинок, изменении времени эмбриогенеза, а также в ответных реакциях защитных систем, в частности антиоксидантной и иммунной [25].

Значительное число исследований дает количественную оценку воздействия разных нефтепродуктов на речные и морские организмы. Так, для молоди рыб медианные летальные концентрации (вызывающие гибель 50% организмов) в экспериментах, продолжавшихся 49–96 ч, были в среднем 0.5–3 мг/л, а для молоди семги и морских рыб Приразломного месторождения – 0.08–7 мг/л. Водорастворимая фракция нефти во многих случаях токсична для эмбрионов и личинок рыб в очень низких (0.004–0.00025 мг/л) концентрациях [16]. При концентрации 0.2 мг/л через 23 дня с начала развития икры в некоторых случаях погибали все эмбрионы и личинки [2].

Еще один аспект загрязнения нефтепродуктами – возможное изменение вкуса рыбы, употребляемой человеком. При содержании нефти >0.1 мг/л “портятся вкусовые качества питьевой воды” [3]. Некоторые авторы отмечают, что “содержание в воде нефтепродуктов выше 0.1 мг/л придает мясу рыбы неустрашимый при любых технологических обработках привкус и специфический запах нефти” [9].

Воздействие ликвидированных скважин

Один из источников загрязнения окружающей среды нефтепродуктами – нефтяные и газовые скважины. Ликвидация таких скважин не гарантирует их безопасности и может привести к аварийным ситуациям [20]. По свидетельству ученых и специалистов, “имеется множество примеров экологических катастроф, связанных с брошенными, законсервированными и ликвидированными скважинами” [15]. При бурении нарушается существующий природный баланс в залегании пластов различных горных пород, что даже после проведения ликвидационных мероприятий может привести к утечкам и разливам.

В 2022 г. в ходе проводимой Росприроднадзором инвентаризации ликвидированных и законсервированных буровых скважин было обследовано порядка 25% объектов, чье местоположение было установлено, состояние только 53% осмотренных скважин визуально было оценено как удовлетворительное, а 38% (1537 скважин) сква-

жин были законсервированы или ликвидированы с нарушениями. Состояние 366 объектов было оценено как опасное [27].

Ситуация в мире с загрязнением рек нефтепродуктами

Многие реки в мире загрязнены нефтепродуктами. Естественные источники нефтепродуктов в реках встречаются, но о масштабных естественных выходах нефти на суше авторам не известны. На Камчатке существуют естественные выходы нефти, два наиболее исследованных – в кальдере вулкана Узон и в районе р. Богачевки [21]. Скорость поступления нефти невелика, исторические данные показывают, что максимальный приток нефти уже пробуренной скважины в районе естественных выходов был <1.5 т в сутки, т. е. <500 т в год [1]. Основным источником этого загрязнения рек – человеческая деятельность: нефтепродукты поступают из выпусков очистных сооружений, от разливов, с диффузными стоками с дорог и с освоенных территорий (в первую очередь урбанизированных).

Как правило, при оценке такого загрязнения используются данные о концентрациях нефтепродуктов. Однако сами по себе концентрации показывают состояние протекающей воды, но не отражают общего воздействия на окружающую среду. Наиболее “естественная” оценка – информация об объемах загрязняющих веществ, переносимых через речные створы. С одной стороны – это реальная масса веществ, имеющая очевидное химико-физическое значение, с другой – это интегральный показатель, отражающий попадание нефтепродуктов во всей реке выше по течению. Данный показатель нелинеен, на его формирование также влияет испарение, разложение и оседание нефтепродуктов, а также их поглощение живыми организмами.

Во многих странах проводились разовые оценки объемов нефтепродуктов, переносимых реками, хотя при характеристиках загрязнения рек они используются не всегда. Так, специальная группа, созданная национальными академиями США (The National Academies), устанавливала общее количество нефтепродуктов (углеводородов), выносимых в океан отдельными реками и в целом

с территории Северной Америки, а также общий вынос с других материков. При этом измерения показали, что североамериканские реки, протекающие через индустриализованные территории, переносят существенное количество нефтепродуктов (сотни и тысячи тонн). Самое большое количество углеводородов за год в США переносит р. Саскуэханна (5100 т), следующие по массе — реки Гудзон (4400 т), Делавэр (2300 т), Джеймс (1800 т) и Миссисипи (1600 т). В то же время в относительно нетронутых регионах загрязнены мало или вообще не загрязнены, например, реки Коппер и Суситна на Аляске [28, 29].

В Российской Федерации перенос нефтепродуктов через замыкающие створы — несколько десятилетий один из интегральных показателей загрязнения. Этот показатель определяется и публикуется в ежегодниках “Качество поверхностных вод Российской Федерации” для 31–34 рек [11]. Продолжительность рядов наблюдений позволяет рассматривать эту информацию за долгосрочный период.

Для р. Камчатки масса нефтепродуктов, переносимых через замыкающий створ, в основном варьирует от 2 до 15 тыс. т в год. Получается, что самые загрязненные реки США переносят меньше углеводородов, чем р. Камчатка.

При этом долгосрочные исследования загрязнения российских рек нефтепродуктами с использованием элементов корреляционного анализа достаточно редки. Так, можно рассмотреть исследование р. Оки [10], включавшее в себя изучение ее загрязнения нефтепродуктами в период с 1990 по 2017 г. Интересна работа по исследованию р. Волги [24]. В ней показано, что за 25-летний период (1991–2015 гг.) на замыкающем створе Верхнее Лебяжье наблюдается достоверная корреляция массы выносимых нефтепродуктов с объемом годового водного стока. Применительно к р. Камчатке долгосрочные исследования (28 лет — с 1990 по 2018 г.) также проводились [8]. Они показали, что для р. Камчатки “характерно незначительное число многолетних трендов концентраций растворенных веществ. Среди главных ионов увеличение содержания в воде характерно только для сульфат-ионов”. Это свидетельствует о том, что скачкообразного

изменения для многих веществ, кроме нефтепродуктов, в р. Камчатке не наблюдалось.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные за продолжительные периоды

Для проводившегося исследования использовались данные за 30-летний период. Ретроспективные данные за такой период получены из нескольких источников.

Информация о ежегодном переносе нефтепродуктов через замыкающий створ и ежегодном стоке р. Камчатки за 29 лет (с 1992 по 2021 г.) опубликована в Ежегодниках Росгидромета [11]. Именно эта информация была использована при расчетах в настоящей статье. Данные о переносе нефтепродуктов и стоке за 2021 г. любезно предоставлены Росгидрометом, они использованы при расчетах.

Материалы, позволяющие оценить активность разведочного бурения в Быстринском районе Камчатки, находятся в архиве Быстринского муниципального района. В нем были выбраны постановления и иные разрешительные документы на разведочное бурение на территории района. Эти данные собраны за 28 лет — с 1992 по 2018 г. (в архив района не передаются данные последних трех лет).

Скрининговые исследования притоков

В летне-осенний период 2022 г. были проведены натурные исследования для большей детализации информации о загрязнении нефтепродуктами р. Камчатки и ее притоков. Исследование проб проводилось в два этапа. В августе 2022 г. были отобраны пробы на основных притоках Камчатки на протяжении 700 км течения реки (начиная от притока Правая Камчатка), включая исследование воды в самой реке. В сентябре была исследована вода преимущественно в притоках второго порядка и около старой скважины на р. Кашкан.

Точечные пробы отбирались на основе ГОСТ Р 59024-2020 [7] и ГОСТ 17.1.5.05-85 [5] (этот стандарт действовал на момент отбора проб). Для анализа проб использован метод колоримет-



Рис. 1. Ежегодный водный сток и перенос нефтепродуктов через замыкающий створ р. Камчатки.

трической экстракции с применением спектрофотометра фирмы “Nash Company” — “DR/2000” (№ 16493-97 в Государственном реестре средств измерения). Норма погрешности метода в соответствии с ГОСТ 27384-2002 [6] составляет 50% (ряд исследований и нормативных документов указывает на меньшую погрешность (например, [14]), но так как при натурном исследовании технической возможности проводить несколько исследований (с целью их статистической обработки) не было, то в дальнейшем исходили из 50% нормы погрешности, но использовали ее только для иллюстративных целей). Порог чувствительности метода, реализуемого на использованной аппаратуре, составляет 20 ПДК (1 мг/л).

Для исследования отбирались точечные пробы, по возможности — в основном потоке реки. Метод отбора проб не предполагал возможности детального исследования водотоков и проведения точных подсчетов, основной задачей исследования было установление наличия и степени нефтяного загрязнения того или иного водотока. Эта специфика отбора проб также вызвана удаленностью исследуемых точек и их сложной транспортной доступностью.

Для целей данного исследования выбрана 21 точка (как для максимального покрытия водосбора, так и с точки зрения доступности и целесообразности), в том числе 14 — непосредственно на притоках р. Камчатки (реки Быстрая и Козыревка указаны отдельно как притоки первого порядка, так как часть воды р. Быстрой попадает в р. Ко-

зыревку, а часть — непосредственно в р. Камчатку), 6 — на притоках второго порядка и одна — на самой реке. Кроме того, исследовано влияние одной затампонированной скважины.

Общие подходы/методы

Для проверки визуальной оценки “скачкообразности” изменения применены методы математической статистики. Корреляционный анализ использован для оценки взаимосвязей как между стоком реки и массой переносимых нефтепродуктов, так и между этой массой и решениями на разведочное бурение. Для установления корреляции проводилась проверка выборки на нормальность и логарифмическую нормальность, расчет корреляции проводился в зависимости от результатов этой проверки. Далее рассчитывались коэффициенты корреляции Пирсона, а при отсутствии нормальности использовались непараметрические методы — коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла.

Статистические методы обработки результатов натурных исследований в работе не применялись из-за их малого количества. Так как их задачей была только скрининговая оценка, то расчеты переноса нефтепродуктов проводились только для полученных результатов без специальной оценки погрешности. Данные натурных исследований могут служить индикатором множественности источников загрязнения, оценки их количества. Своего рода проверка результатов

Таблица 1. Результаты исследований притоков (в нижнем течении) р. Камчатки, август 2022 г.

Название (направление притока)	Площадь водосбора, км ²	Среднее значение среднегодового стока за 5 лет, м ³ /с	Доля площади водосбора*, %	Доля стока от среднего, %	Результат измерений концентрации, долей ПДК рыбхоз	Оценка массы нефтепродуктов, переносимых в р. Камчатку, т
Андриановка (западный)	1190	31.4	2.6	4.1	20	990
Быстрая (западный)	3830	26.5 25.6	8.4	3.5	0	0
Жупанка (Жупановка) (западный)	386	0.34	0.85	0.045	0	0
Ильчинец (северный)	729	Нет данных	1.6	Нет данных	40	770**
Кашкан (восточный)	73	1.48	0.16	0.19	40	93
Кирганик (западный)	1460	26.3	3.2	3.5	20	830
Козыревка (западный), водосбор указан без водосбора Быстрой	4610	56.5	10.1	7.4	0	0
Правая Камчатка (восточный)	218	5.63	0.48	0.74	70***	620
Радуга (северный)	1040	29.1	2.3	3.8	80	3670
Шапина (восточный)	3420	52.9	7.5	7.0	60	5000
Итого/среднее	16956		37	30	33****	12000

* Доля рассчитывалась от площади водосбора выше замыкающего створа, которая составляет 45600 км² [16].

** Расчет сделан на основании доли площади водосбора из-за отсутствия данных о стоке.

*** Среднее значение зафиксированных 100 ПДК и 40 ПДК.

**** Среднее значение концентраций.

может быть проведена путем сравнения переноса нефтепродуктов исследованными притоками и через замыкающий створ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Резкое изменение массы переносимых нефтепродуктов

Данные о переносе нефтепродуктов и стоке для р. Камчатки проиллюстрированы на рис. 1. В соответствии с руководящим документом Росгидромета [17], нижний предел обнаружения нефтепродуктов составляет 0.02 мг/дм³, а измерение массовых концентраций нефтепродуктов (на основании которых рассчитывается перенос) проводится начиная с 0.04 мг/дм³. Поэтому для р. Камчатки в качестве верхней границы массы

переносимых нефтепродуктов, которые теоретически могут не быть обнаружены, принимается 1500 т в год (перенос при максимальном наблюдавшемся стоке и постоянной концентрации 0.04 мг/дм³).

Из рис. 1 видно, что масса переносимых нефтепродуктов скачкообразно выросла с 2002 г. Следует отметить, что больше ни на одной из рек территории Российской Федерации (по которым Росгидрометом в Ежегодниках [12] публикуется информация о переносе нефтепродуктов через их замыкающие створы) такие скачки не наблюдаются.

Для проверки визуальной оценки “скачкообразности” изменения применены методы математической статистики. Два критерия (Колмо-

рова—Смирнова и Шапиро—Уилка) применены к величинам переноса в 2002–2021 гг. (20 наблюдений). Оказалось, что эта выборка значимо отличается от нормального распределения. Но по этим критериям она не имеет значимого отличия от логарифмически нормального распределения, которое является одним из распространенных распределений, применяемых в гидрологических расчетах (например, [4, 12, 13]). Средняя масса переносимых нефтепродуктов за рассматриваемый период составляет 6.4 тыс. т, нижняя граница доверительного интервала для среднего – 4.7 тыс. т (с вероятностью 99.9%). Расчеты показывают, что вероятность наблюдения величины переноса нефтепродуктов <1.5 тыс. т составляет <0.15%. При этом источники поступления нефтепродуктов государственным органам неизвестны.

Корреляция переноса нефтепродуктов со стоком

Для периода, когда загрязнение реки нефтепродуктами было каждый год отлично от нуля и >1.5 тыс. т (с 2002 по 2021 г.), возможно проверить наличие связи между стоком и массой переносимых нефтепродуктов. Так как величина стока не соответствует ни нормальному, ни логарифмически нормальному распределению, то расчет корреляции Пирсона (для проверки наличия линейной связи) возможен, но ненадежен, а стандартные оценки достоверности не могут быть применены. Использование непараметрических методов в данном случае предпочтительно. Результаты вычислений показывают наличие достоверной ($P = 98\%$) статистически значимой умеренной корреляции – корреляции Спирмена и Кендалла равны 0.47 и 0.36 соответственно. Наличие связи массы загрязняющих веществ и стока может свидетельствовать о наличии диффузных источников.

Результаты натурных наблюдений

Натурные наблюдения в 2022 г. также показали, что в притоках Камчатки концентрация нефтепродуктов достигала 5 мг/л (погрешность здесь не приводится, если учитывать норму погрешности метода, то максимальное значение находится в промежутке 2.5–7.5 мг/л). Сравнение результатов исследования влияния нефте-

продуктов на водные организмы, особенно на икру и личинок, описанных выше, с измеренными концентрациями дает основания полагать, что негативное влияние нефтепродуктов на р. Камчатке очень существенно.

Перечень притоков, площади их водосборов [26] и средние величины их среднегодовых стоков за 5 лет [18], а также результаты натурных измерений на притоках в других точках приведены в табл. 1, 2 и 3, расположение точек отбора проб указано на рис. 2. Доли площадей водосборов и доли стоков различаются, так как на разных участках на Камчатке модули годового стока могут различаться в 1.6 раза [23]. Концентрация нефтепродуктов в самой р. Камчатке, измеренная ниже по течению от района Больших Щёк, составила 20 ПДК.

Таблица 2. Результаты исследований притоков второго порядка р. Камчатки (сентябрь 2022 г.)

Название	В какой приток впадает	Результат измерений концентрации, долей ПДК _{рыбхоз}
Анавгай	Быстрая	60
Ипуин	Левая Шапина (Шапина)	0
Ковавля (Кававля)	Быстрая	60
Куюл	Анавгай	0
Первая Катава	Андриановка	0
Уксичан	Быстрая	0
Среднее		20

Таблица 3. Результаты иных исследований загрязнения

Река	Точка отбора	Результат измерений концентрации, долей ПДК _{рыбхоз}
Кашкан	100 м выше скважины № 2 по течению реки	0
	80 м выше скважины № 2 по течению реки	0
	30 м выше скважины № 2 по течению реки	0
	30 м ниже скважины № 2 по течению реки	60
	2 км ниже скважины № 2 по течению реки	60
Камчатка	Устье, 50 км вниз по течению от Больших Щёк	20

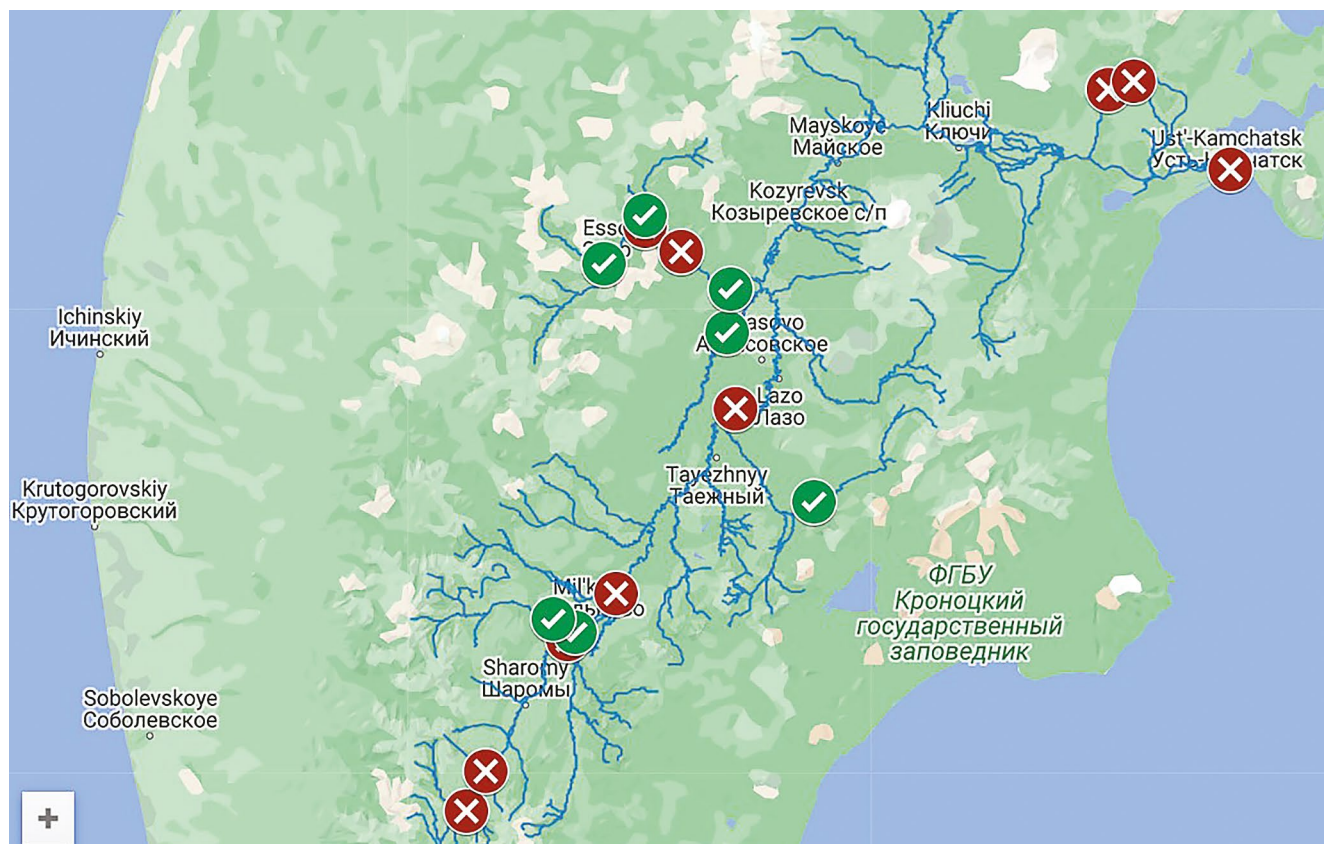


Рис. 2. Территория отбора проб. Точки отбора – кружки с крестиками.

Оценки на основе натурных исследований

Как видно из табл. 1, водосбор исследованных притоков составляет 37% от всего водосбора, а сток – 30% от ежегодного среднего стока. Эти соотношения позволяют оценить массу нефтепродуктов, которая может переноситься притоками в р. Камчатку. Оценка совокупного переноса указанными притоками получилась в результате суммирования для всех притоков соответствующих концентраций, умноженных на средние объемы годового стока. Оценка выноса нефтепродуктов в р. Камчатку всеми обследованными притоками составляет 12 000 т. Кроме того, рассчитана средняя концентрация нефтепродуктов, которую можно сравнивать с концентрациями, оказывающими явные негативные воздействия.

Сделанные выше оценки выноса очень грубы и предварительны, такой расчет не дает возможности оценить погрешность и может служить только для сравнения результатов этих расчетов

с данными измерений на замыкающем створе с целью сопоставления значений. Расчет массы нефтепродуктов, переносимой притоками, сделан с рядом существенных допущений. В частности, использованы данные точечных проб, однократно отобранных в части потока с наиболее быстрым течением, и не учтен фактический объем стока конкретного притока в 2022 г. Кроме того, по пути к замыкающему створу нефтепродукты в р. Камчатке оседают, испаряются, разлагаются и поглощаются живыми существами, обитающими в реке. Поэтому совокупное попадание нефтепродуктов из притоков больше, чем количество, измеренное на замыкающем створе.

В целом, применение результатов натурных исследований ко всему водосбору реки позволяет охарактеризовать общее попадание нефтепродуктов в р. Камчатку, средняя оценка составляет 30–40 тыс. т. Если применить норму погрешности методики (а это далеко не единственный элемент, определяющий погрешность), то средняя оценка – 15–60 тыс. т. В то же время результаты



Рис. 3. Затампонированная скважина, от которой исследовано загрязнение (съемка 2022 г.).



Рис. 4. Ежегодная выдача разрешений на разведочное бурение в Быстринском районе.

расчета общего переноса в створе в районе Больших Щёк (на основании данных о стоке и концентрации) дают оценку в 21 тыс. т. Таким образом, расчеты на основе измерений в притоках и в основном русле дают схожие оценки, превышающие даже максимальные ежегодные оценки переноса.

В табл. 2 показано, что водосбор “чистых” притоков составляет более половины рассмотренных, а их сток — более трети.

Как видно из табл. 1 и 2, во многих притоках и первого, и второго порядка загрязнение не обнаружено, хотя оно могло быть ниже, чем порог

чувствительности использованного метода. Отсутствие загрязнения или его ограниченность в значительном количестве притоков могут свидетельствовать о том, что существует ограниченное количество источников загрязнения. Такие источники находятся в бассейнах далеко не всех притоков второго и даже первого порядка. При этом не наблюдается связи наличия загрязнения в притоке с основным направлением его течения.

Влияние обследованной скважины

Для оценки возможности влияния разведочных скважин на загрязнение нефтепродукта-

ми проведено исследование воды в р. Кашкан в районе расположения скважины с надписью “№ 2” (рис. 3) с координатами 54.1527° с.ш. и 157.9787° в.д. Как показано в табл. 3, пробы воды в р. Кашкан, отобранные на расстоянии 30 м и 2 км ниже скважины по течению, были загрязнены нефтепродуктами в 60 раз выше нормы, в то время как три пробы, взятые на 30–100 м выше по течению, показали отсутствие загрязнения. Можно обоснованно предположить, что именно с этой скважиной связано загрязнение нефтепродуктами р. Кашкан. Годовой вклад этой скважины можно оценить в ~90 т (так как измерения проводились на расстоянии 1–3 км до устья). Это позволяет предположить, что максимальное количество скважин, дающих вклад в нефтяное загрязнение реки, может достигать 300–350 штук. К сожалению, без дальнейших исследований проверить это невозможно, так как данных о количестве и расположении разведочных скважин, пробуренных в период с 1990 г. по начало 2000-х гг., в открытом доступе нет.

Антропогенное воздействие

За 30-летний период с 1992 по 2021 г. никаких скачкообразных природных изменений в водосборном бассейне р. Камчатки не произошло. Одновременно за этот период на территории водосбора не происходило никакого существенного роста хозяйственной деятельности, не началась добыча нефти, не выросло население. Единственным видом хозяйственной деятельности во многих точках в регионе было прежде всего бурение разведочных скважин и их ликвидация. Вся остальная деятельность (строительство баз, развитие туризма и др.) было представлено единичными объектами.

Водосборные площади рек Быстринского района, впадающих в Камчатку, — одни из самых больших среди других районов. Основные реки района — Быстрая и Козыревка [26] — впадают в р. Камчатку, их водосборная площадь >20% (сам район занимает >1/2 водосборной территории до замыкающего створа). Поэтому он взят как тестовый для оценки ситуации с бурением. Собраны “исторические” данные с 1992 по 2018 г. о постановлениях местной администрации на разведочное бурение, находя-

щихся в архиве Быстринского муниципального района Камчатского края (в 2022 г. в архив еще не поступили данные за 2019–2021 гг.). Данные о количестве разрешений на разведочное бурение (ежегодные и с накоплением) приведены на рис. 4. Важно учесть, что этот район охватывает хотя и значительную, но все же только часть водосбора реки. В результате бурения на его территории в воду попадает только часть нефтепродуктов. Поэтому верность гипотезы, что один из существенных источников загрязнения — ликвидированные скважины, должна подтверждаться достоверной, но не высокой, а умеренной корреляцией с данными о разрешениях на бурение.

По данным графика на рис. 4 можно предположить, что связь между выдачей разрешений и появлением в реке значительного количества нефтепродуктов существует. Однако визуально достаточно сложно дать оценку типу этой связи. Чтобы численно установить наличие связи, необходимо учесть, что значительное число разрешений выдавалось достаточно поздно — весной или даже во второй половине года. Соответственно, сами работы не обязательно начинались в год получения разрешения. Работы могли начаться и на год позже, в том числе из-за необходимости использования различных способов транспортировки в разные сезоны: зимники, водные перевозки. Кроме того, бурение могло продолжаться несколько месяцев, а ликвидационное тампонирование могло начаться только после его завершения. Поэтому цикл работ от выдачи разрешения до ликвидации скважины мог составлять 1–3 года. С целью минимизации влияния такого “размывания” по времени для расчетов использованы трехлетние скользящие средние (и для разрешений, и для выноса). В качестве характеристики ликвидированных скважин рассмотрено накопленное количество разрешений, так как, если часть нефтепродуктов поступала из ликвидированных скважин, то это количество “копилось”, хотя также существенно зависело от величины стока.

Для проверки наличия связи для трехлетних скользящих средних рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла, а также коэффициент корреляции Пирсона. В силу отсутствия нормального распределения

коэффициент корреляции Пирсона имеет только иллюстративный характер. Полученные результаты приведены в табл. 4. Они с очень высокой вероятностью подтверждают наличие положительной корреляции, которая разными методами оценивается несколько по-разному — от умеренной до сильной.

Таблица 4. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла и коэффициент корреляции Пирсона (P — доверительный интервал)

Коэффициент	Значение	$P = 95\%$
Спирмена	0.77	0.53–0.89
Кендалла	0.57	0.28–0.86
Корреляции Пирсона*	0.82	—

* Обе рассматриваемые выборки значимо отличаются от нормального распределения, поэтому здесь невозможно применить стандартный расчет границ доверительного интервала.

На основе этих расчетов можно заключить, что существует взаимосвязь между разрешениями, выданными на разведочное бурение, и количеством нефтепродуктов, загрязнявших р. Камчатку. По коэффициентам Спирмена и Кендалла вероятности того, что такая взаимосвязь отсутствует, составляет лишь доли процента ($<0.025\%$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, описанные в настоящей статье, состоят из нескольких частей. Первая часть — статистический анализ данных за длительный период. Похожие исследования проводились, однако никто не ставил задачи выявить достоверность скачкообразного изменения степени загрязнения и его масштаб. Такое резкое изменение загрязнения, обычно ассоциированного с промышленностью или крупными населенными пунктами, в малонаселенном районе представляется достаточно маловероятным.

При возможной высокой степени влияния нефтепродуктов на окружающую среду выявление его источников — самая актуальная задача, связанная с рекой. Предварительный анализ — выявление наличия корреляционной связи между загрязнением и стоком — дал основание для предположения о появлении нового фактора,

который создают антропогенные источники загрязнения. Натурные исследования и отработка архива позволили обоснованно предположить, что источником загрязнения могут быть старые скважины.

Получение результатов, описанных в статье, стало возможным благодаря одновременному применению трех интегральных подходов в комбинации с разовыми натурными исследованиями. Во-первых, использован “естественный” интегральный критерий — оценка массы нефтепродуктов, протекающих через замыкающий створ р. Камчатки. Во-вторых, этот критерий рассмотрен за продолжительный период (при отсутствии скачкообразных изменений внешних природных условий). В-третьих, также рассмотрен “административный” параметр — количество решений на разведочное бурение, выданных за продолжительный период. Полученные результаты дали возможность запланировать точечные исследования, достаточные для предварительных выводов. Новым является подход, комбинирующий административные данные и натурные исследования уровня загрязнения за продолжительный период и позволяющий оценить вероятность существования фактора, ведущего к загрязнению.

В соответствии с [22], “для ликвидационного тампонирования скважины, пройденной в скальных и полускальных породах, применяют цемент”. Нельзя исключить, что в 2000-е гг. из-за сложности и высокой стоимости перевозки даже там, где это необходимо, цемент не применялся или применялся в очень ограниченных количествах. Ретроспективно установить это в настоящее время (т. е. спустя более 20 лет) невозможно, поэтому единственное, что можно сделать — провести обследование и выявить скважины, которые служат источником нефтепродуктов.

В 2001–2002 гг. резко и существенно увеличилось загрязнение р. Камчатки нефтепродуктами. Возросшее с 2002 г. загрязнение статистически достоверно отличается от загрязнения в предыдущее десятилетие. До 2002 г. значимого количества нефтепродуктов, переносимых через замыкающий створ р. Камчатки, не наблюдалось (в период с 1992 по 2001 г. масса была <1500 т

в год). С 2003 по 2021 г. средняя переносимая масса составила 6400 т в год.

В период, когда переносимое через замыкающий створ количество нефтепродуктов отличалось от нуля (2002–2021 гг.), оно умеренно коррелировало со стоком р. Камчатки, что свидетельствует о возможном появлении диффузных источников.

Скрининговые исследования в 2022 г. показали, что существенное количество притоков р. Камчатки загрязнено нефтепродуктами, поэтому их попадание в р. Камчатку происходит из значительного количества источников. В отсутствие значительных природных явлений эти источники, вероятнее всего, — антропогенные.

Достоверная корреляция между накопленным количеством разрешений, выданных на ведение разведочного бурения, и переносом нефтепродуктов через замыкающий створ также позволяет предположить, что рост загрязнения нефтепродуктами обусловлен человеческой деятельностью, а именно — связан с затампонируемыми скважинами.

Необходимо дальнейшее исследование реки и притоков, выяснение источников нефтепродуктов и принятие мер для прекращения загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.Г. Перспективы нефтегазоносности континентальной части Дальнего Востока и Северо-Востока СССР // Геология нефти и газа. 1961. № 10. С. 30–36.
2. Газимагомедова И.К., Рабаданова М.М. Физиолого-биохимические показатели рыб в раннем онтогенезе при нефтяном загрязнении водной среды // Вестн. Дагестанского гос. ун-та. Сер. 1. Естественные науки. 2016. № 4. С. 106–113.
3. Галиулин Р.В., Башкин В.Н., Галиулин Р.А., Арабский А. К. Способ защиты подземных вод от загрязнения нефтью // Деловой журн. Neftegaz.RU. 2020. № 10 (106). С. 104–108.
4. Гарцман Б.И., Шамоу В.В., Губарева Т.С. Речные системы Дальнего Востока России: четверть века исследований. Владивосток: Дальнаука, 2015. 492 с.
5. ГОСТ 17.1.5.05-85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков, М.: Стандартинформ, 2012. 12 с.
6. ГОСТ 27384-2002 Межгосударственный стандарт. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств. М.: Стандартинформ, 2012. 9 с.
7. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2022. 31 с.
8. Даниленко А.О., Коваленко А.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. Метод оценки стационарного состояния водных объектов на примере рек полуострова Камчатка // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Ростов-на-Дону: Гидрохим. ин-т, 2020. Ч. 1. С 34–39.
9. Демьянова Н.А., Сентюрова М.В., Васильев С.И., Надежкин И.В. Удаление тонких нефтяных пленок с водной поверхности // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 10. С. 46–49.
10. Джамалов Р.Г., Власов К.Г., Григорьев В.Ю., Галагур К.Г., Решетняк О.С., Сафронова Т.И. Масштаб и многолетняя динамика загрязнения бассейна Оки // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. № 2 (86). С. 40–53.
11. Ежегодники “Качество поверхностных вод Российской Федерации”. 1993–2022 гг.
12. Иванько Я.М., Чернигова Д.Р. Гидрология: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.08 — Водные биоресурсы и аквакультура. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. 168 с.
13. Михалев М.А. Инженерная гидрология: Уч. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 360 с.
14. Николаева Я.О., Саитов Э.Н. Совершенствование методов контроля содержания органических примесей в обратном конденсате на ТЭС и ТЭЦ // Вестн. науки и образования. 2019. № 1–1 (55).
15. Пономаренко Д.В., Белоусов Г.А., Журавлев С.В. О надежности ликвидации скважин, выполнивших свое назначение // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2012. № 4. С. 16–19.
16. Пряжевская Т.С., Черкашин С.А. Влияние нефтеуглеводородов на ранний онтогенез рыб // Изв. ТИНРО. 2007. Т. 149. С. 359–365.
17. РД 52.24.476-2007. Руководящий документ “Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом”. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2007. 33 с.

18. Ресурсы поверхностных вод СССР: основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 20. Камчатка / Сост. *И.В. Антонова и др.*, под ред. *В.Ч. Здановича, Н.А. Нечаевой*. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 276 с.
19. *Руднева И.И.* Оценка токсичности нефтепродуктов с помощью биомаркеров икры морских рыб // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием. Кн. 1 / Отв. редактор *Т.Я. Ашихмина*. Киров: ВятГУ, 2018. 332 с.
20. *Сафаров Р.С., Сеидахмедов Н.С., Рагимов Р.Г.* Проблемы ликвидации нефтяных и газовых скважин // Безопасность труда в пром-ти. 2019. № 4. С. 25–30.
21. *Севастьянов В.С., Карпов Г.А., Бычков А.Ю., Кузнецова О.В., Федулов В.С.* Влияние гидротермолиза на распределение изотопов углерода и водорода по фракциям органического вещества. Природа нефтепроявлений в кальдере вулкана Узон на Камчатке // Геохимия. 2019. Т. 64. № 3. С. 227–236. doi: 10.31857/S0016-7525643227-236
22. *Стрик Ю.Н., Ильяш В.В.* Бурение разведочных скважин. Пособие по специальности 011100 – Геология, 080100 – Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Воронеж: ВГУ, 2004. 62 с.
23. *Фролова Н.Л., Становова А.В., Горин С.Л.* Режим стока воды в нижнем течении реки Камчатки и его многолетняя изменчивость. Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2014. Вып. 32. С. 73–78.
24. *Шапоренко С.И., Георгиади А.Г.* Современные тенденции водохозяйственной деятельности на водосборе Волги и изменений ее водности: их возможное влияние на гидрохимические характеристики устьевой зоны // Тр. ИБВВ РАН. 2018. № 83 (86). С. 7–22.
25. *Altin D., Brakstad O., Hansen B.H., Farkas J., Nordtug T.* Does microbial biodegradation of water-soluble components of oil reduce the toxicity to early stages of fish? // Environ. Sci. Technol. 2018. V. 162. P. 59–62.
26. http://amurbvu.ru/files/SKIOVO_KAMCHATKA.pdf
27. <https://t.me/radionovasg/708>
28. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2003. Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects. Washington, DC: The National Acad. Press, 2022. 277 p. <https://doi.org/10.17226/10388>
29. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022. Oil in the Sea IV: Inputs, Fates, and Effects. Washington, DC: The National Acad. Press, 2022. 97 p. <https://doi.org/10.17226/26410>