

technologies in construction, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev

Agricultural Academy», 127550, Moscow, st. Boljshaya Akademicheskaya, 44, Phone number: 8(499)153-97-66, e-mail: maxim6663@mail.ru.

УДК 502/504:628.16

И.М. САВКОВ, С.Л. ЗАХАРОВ

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

МЕТОД ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРА- И МИКРОФИЛЬТРАЦИИ

Проблемы очистки водных сред имеют место в настоящее время практически во всех областях человеческой деятельности. Наиболее остро они встают в энергетике, пищевой промышленности, биотехнологии, химической промышленности и хозяйственно-питьевом водоснабжении. Надежность и стабильность работы мембранных установок по получению, в частности, питающей воды котлов высокого давления в энергетике во многом зависят от качества предподготовки воды перед стадией обратного осмоса (ОО). Микрофильтрация (МФ) и ультрафильтрация (УФ) позволяют снизить потребность в мембранах для ОО установки на 20% (иногда и выше), а также упростить процесс предварительной очистки, в результате чего снижаются эксплуатационные расходы на установки. Как установлено, непрерывная МФ и УФ более экономичны в сравнении с традиционными методами предварительной очистки на весь срок службы, особенно в тех случаях, когда исходная вода в высокой степени загрязнена взвешенными твердыми веществами и коллоидами [1].

Обратный осмос, нанофильтрации, ультрафильтрации, микрофильтрация, нанопористые мембраны.

Введение. В последние годы в мировой практике в некоторых крупных установках применяются интегрированные мембранные системы (IMS), сочетающие микрофильтрацию (МФ) или ультрафильтрацию (УФ) с обратным осмосом (ОО) или нанофильтрацией (НФ) для достижения более высокого качества для ОО/НФ с точки зрения мутности, показателя плотности ила (SDI) и биологического контроля, обеспечивая получение воды с пониженным потенциалом загрязнения для ОО/НФ мембран [2].

Таким образом создается возможность работы с более совершенными установками и сниженными удельными издержками.

На сегодняшний день существуют следующие варианты:

- традиционная предварительная очистка и ОО или НФ;
- IMS: непрерывная МФ или УФ в сочетании с ОО или НФ.

Использование УФ и МФ мембран обуславливается их химической и физической стойкостью, но размеры пор велики для использования в качестве заключительной стадии очистки, поэтому измерение их селективности возможно по малому количеству

характеристик воды. При этом возможность их очистки и вторичное использование, ставят их на ряд выше традиционной предварительной очистки. Замена классической схемы предочистки на предлагаемую позволяет исключить использование химических реагентов, автоматизировать процесс, снизить капитальные и эксплуатационные затраты, повышение качества подаваемой на нанофильтрационный или обратноосмотический модуль воды, для повышения эксплуатационного срока службы [2].

Материалы и методы исследования. Наиболее распространенными типами мембран, следующими за МФ и УФ, являются традиционные ОО элементы, НФ и ОО элементы с низкой энергоемкостью.

Данная тенденция для интегральных мембранных систем обусловлена, главным образом, осуществимостью процесса, надежностью процесса, наличием работающих установок, модульностью и низкими эксплуатационными расходами. Непрерывная МФ и УФ позволяют осуществлять более высокий контроль за качеством исходной воды для ОО, в результате интервалы чистки ОО мембран сокращаются [2].

МФ и УФ позволяют снизить потребность в мембранах для ОО установки на 20% (иногда и выше), а также упростить процесс предварительной очистки, в результате чего снижаются эксплуатационные расходы на установки. Как установлено, непрерывная МФ и УФ более экономичны в сравнении с традиционными методами предварительной очистки на весь срок службы, особенно в тех случаях, когда исходная вода в высокой степени загрязнена взвешенными твердыми веществами и коллоидами.

Кроме того, непрерывная МФ и УФ повышают эффективность удаления нежелательных соединений. Они высокоэффективны для удаления частиц и мутности. Уровень мутности можно снизить до значений ниже 0,1 ЕМФ (единиц мутности). Основной целью данной работы является создание модельной пилотной установки для проверки эффективности работы различных мембран.

Процессы непрерывной МФ и УФ эффективны для удаления бактерий, кишечных палочек и прочих микробиологических веществ. УФ также способна удалять многие вирусы. МФ и УФ не очень эффективны для удаления побочных продуктов дезинфекции и растворенных веществ в общем, и обладают ограниченной способностью при удалении органических веществ.

Для повышения эффективности мембранных процессов можно также использовать добавку коагулянта или активированного порошкового угля.

В настоящее время в промышленности существуют два способа фильтрации жидкостей с использованием мембранной технологии:

1-тушиковая фильтрация без промывки (например, на гофропатронах);

2-фильтрация в проточном режиме (например, на рулонных элементах для ультрафильтрации, обратного осмоса, нанофильтрации).

Тушиковая фильтрация хотя и энергоэкономична, но ресурс работы фильтрующего элемента невелик.

Напротив, фильтрация в проточном режиме обеспечивает значительно больший ресурс работы элемента (по крайней мере на порядок), но и значительно большую энергоемкость.

В связи с этим весьма привлекательным и перспективным представлялось создание такого фильтрующего элемента и технологии его применения, которое позволило бы

объединить положительные стороны вышеупомянутых процессов фильтрации.

В результате проведенных исследований разработан фильтрующий элемент и технология его применения, позволяющая получать не менее 95% очищенной воды из исходного потока, при этом 5% используются на гидродинамическую регенерацию фильтра.

На созданной модельной установке были (рис. 1) проведены исследования в ручном и автоматическом режиме с широким диапазоном варьирования параметров процесса (рабочего давления при фильтрации, обратноточных промывках и прямоточных продувках, времени фильтрации, времени и объема воды и воздуха при промывке-продувке).



Рис. 1. Модельная установка

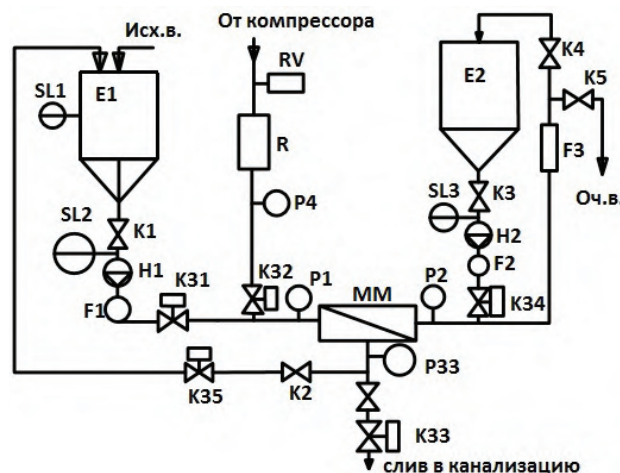


Рис. 2. Технологическая схема установки

- E1 – емкость исходной воды;
- E2 – емкость очищенной воды;
- H1,2 – насос; F1,2 – ротаметр; F3 – расходомер;
- R – воздушный ресивер; RV – реле давления воздуха; RED – воздушный редуктор;
- MM – мембранный модуль; P1,2,3,4 – манометр;
- SL1 – сигнализатор уровня; SL2,3 – датчик «сухого хода»; K1,2,3,4,5 – шаровый кран;
- K31,32,33,34,35 – электромагнитный клапан

Исходная водная среда подается в емкость Е1 (подача может осуществляться и прямо из питающей магистрали), откуда под давлением 0,5–2 атм под действием насоса Н1 подается на мембранный модуль ММ. Получаемый фильтрат (очищенная вода) через открытые клапаны К4 и К5 поступает в емкость Е2 (используется при обратноточной промывке) и потребителю.

Оставшаяся вода через открытый клапан К2 поступает в приемную емкость Е1 (при ее отсутствии – на линию подачи исходной воды перед насосом Н1). Это, так называемый, «рабочий» цикл фильтрации, при котором клапаны К32 и К34 закрыты. Рабочий цикл длится 20–60 мин, после чего наступает цикл промывки элемента и удаления накопившейся в рециркуляционном контуре загрязнений. При этом насос Н1 выключается, клапаны К31, К2, К5, К4 закрываются. Открываются клапаны К34, К33, включается насос Н2, часть фильтрата, накопленного в емкости Е2 подается противотоком внутрь фильтрующего элемента, грязь с поверхности мембраны поднимается и частично уносится в канализацию. Это первый этап регенерации, длящийся 4–10 секунд. После этого насос Н2 выключается клапан К34 закрывается, открывается клапан К31, включается насос Н1, открывается клапан К32, через который в жидкость, подающуюся на элемент для его прямоочной промывки впрыскивается сжатый воздух для образования водо-воздуш-

ной смеси, вытесняющий из объема элемента все загрязнения, накопившиеся за «рабочий» цикл.

Второй этап регенерации длится также 4–10 секунд.

Для повышения эффективности регенерации этапы 1 и 2 повторяются трижды.

Таким образом, на регенерацию затрачивается 30–60 секунд. При этом, как уже отмечалось, на весь цикл регенерации расходуется около 5% исходной воды (в описанном случае – 2,5% полученного фильтрата и 2,5% исходной воды).

В таблице 1 представлены результаты демонстрационных испытаний в цехе химводоподготовки ТЭЦ-23 (г. Москва), проведенные совместно с ГУП ВНИИАМ (г. Москва) на модельной установке (рис. 1). В фильтрующих элементах в первом случае использовалась трековая лавсановая мембрана производства ЗАО НТЦ «Владипор» с размером пор 1 мкм, во втором случае – полимерная мембрана на основе регенерированной целлюлозы с размером пор 0,2 мкм. При этом мутность фильтрата в первом случае не превышала 0,25 мг/л при исходной мутности до 10 мг/л по каолину, во втором – не превышала 0,15 мг/л, что позволяло сделать вывод дальнейшее использование фильтрата, увеличивало стабильность работы НФ и ОО фильтрующих элементов, и уменьшение эксплуатационных затрат (промывки элементов, их замена в связи с осаждением коллоидных частиц на поверхность мембраны).

Таблица 1

Результаты испытаний микрофильтрационных элементов на ТЭЦ 23

Трековая мембрана, 1 мкм

Расход фильтрата, л	Производительность, л/час	Селективность, по мутности, %	Мутность фильтрата мг/л по каолину	Мутность исходной воды мг/л по каолину
86	180	97,5	0,25	10
90	164	89	0,2	6,3
100	190	67	0,2	0,6
105	220	60	0,2	0,5
280	200	87,9	0,25	2,05
120	190	87,8	0,25	2,05
130	190	80	0,25	1,2

Давление при фильтрации – 0,5–0,6 атм.

МЦМ мембрана, 0,2 мкм

150	140	60	0,15	0,35
100	230	60	0,1	0,25

Давление при фильтрации – 0,5 атм.

В таблице 2 представлены результаты работы элемента на основе трековой мембраны (1 мкм) по очистке водопроводной воды г. Владимира.

На данном элементе было получено 9 м³ фильтрата (эффективная поверхность мембраны – около 1 м²), после этого элемент вскрыт для визуального определения количества загрязнений на поверхности мембраны. Загрязнения оказались совсем незначительными, что подтверждают приведенные в таблице данные по эффективности производившейся гидродинамической регенерации (см. значения «производительность до промывки» и «производительность после промывки» по мере получения фильтрата).

После вскрытия элемента обнаружены незначительные следы загрязнения поверхности мембраны.

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 3 для наглядности графически представлен фрагмент работы фильтрующего элемента по очистке водопроводной воды г. Владимира на основе

мембраны из регенерированной целлюлозы с размером пор 0,2–0,3 мкм в режиме поперечноточной фильтрации Кросс-Флоу (рис. 4). При эксплуатации элемента селективность по мутности практически не изменяется (незначительные колебания связаны с изменением состава исходной воды), измерения проводились фотометрическим методом определения мутности. Средняя производительность медленно снижается, что говорит о все-таки не о 100%-ой регенерации элемента гидродинамическими промывками-продувками. Поэтому, периодически (в среднем 1 раз в месяц) следует осуществлять химическую мойку щелочными агентами для удаления органических отложений и/или кислотную для очистки мембраны от коллоидной гидроокиси железа. При использовании данного процесса в пищевой промышленности во время первого этапа регенерации (обратноточная промывка фильтратом) следует предусмотреть периодический впрыск гипохлорита натрия для дезинфекции.

Таблица 2

Результаты испытаний фильтрующего элемента «Трековая лавсановая мембрана», 1 мкм по водопроводной воде г. Владимира

Рабочее давление, атм	Количество полученного фильтрата, л	Производительность до промывки, л/ч	Производительность после промывки, л/ч	Мутность исходной воды, мг/л по каолину	Селективность по мутности, %
1,0	2000	211	240	1,58	83,5
1,5	3000	211	276	1,52	91,3
1,5	4000	180	257	0,93	90,6
1,5	5000	199	211		
1,5	6000	200	257		
1,0	7000	189	225		
1,0	8000	198	211		
1,0	9000	189	225	1,33	85,6

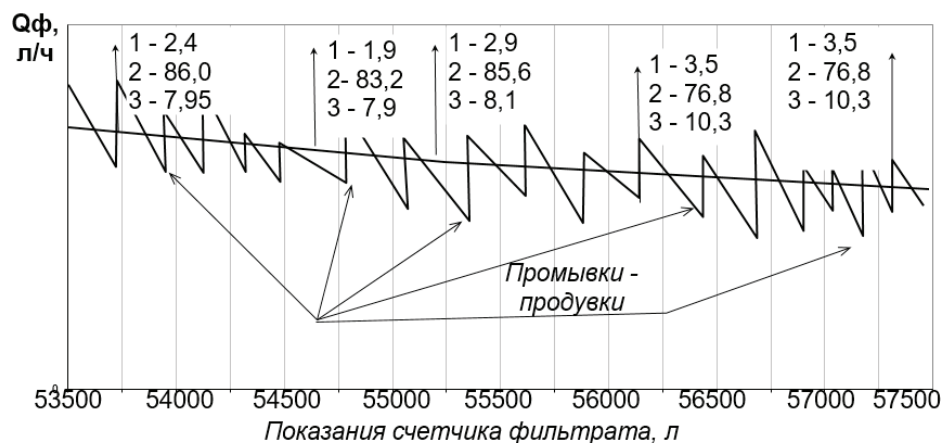


Рис. 3. Зависимость производительности элемента от количества отфильтрованной воды в режиме «Кросс-флоу» с циклическими промывками (размер пор 0,2–0,3 мкм): 1 – мутность воды, мг/л; 2 – селективность, %; 3 – мутность промывочной воды, мг/л по каолину

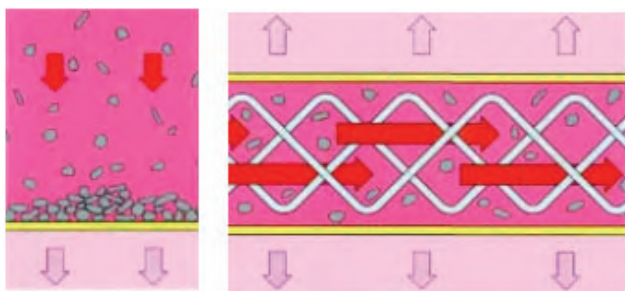


Рис. 4. Слева – статическая фильтрация под давлением. Справа – динамическая фильтрация Кросс-Флоу

На основании данных, полученных на модельной установке, где испытывались элементы с активной мембранной поверхностью около 1 м², была сконструирована и изготовлена совместно с ЗАО «Роса» (г. Новосибирск) пилотная установка с производительностью по фильтрату 2500 л/ч. Установка укомплектована фильтрующим элементом с площадью активной мембранной поверхности 10 м². Оборудование установлено на ТЭЦ-2 г. Новосибирска. Источником ис-

ходной воды является река Обь. Вода через фильтр грубой очистки (130 мкм, Honeywell) подается на мембранный модуль. Качественные характеристики исходной воды после грубой очистки и селективность мембранного модуля (ММ) представлены в таблице 3 (Химические анализы воды производились ООО «Сибирь Цео» в соответствии с ГОСТ 4979, ГОСТ 24902, ГОСТ 24481).

Как видим из таблицы 3 мембранный модуль ультрафильтр удаляет множество примесей из исходного раствора, но размера пор не хватает для высокой селективности по не некоторым солям. Основными загрязняющими веществами ОО модуля являются железо и органика, ведь они осаждаются на ОО мембране и способствуют падению производительности ОО модуля. В следствии этого требуется химическая промывка ОО модуля. Ультрафильтр почти полностью удаляет вещества способные в короткий срок вывести из ОО элемент, следовательно, продлевая срок бесперебойной службы интегральной мембранной системы.

Таблица 3

Селективность мембранного модуля по различным химическим составляющим

Химические составляющие исходной воды	Содержание исходного раствора, мг/л	Селективность, ММ%	Содержание в фильтрате, мг/л
железо	87	95	4
марганец	0,6	50	0,3
магний	13	10	11,5
медь	0,6	34	0,396
кальций	31	67	10,23
натрий	18	70	5,4
калий	9	50	4,5
сульфаты	0,8	36	0,512
полисиликаты	23	90	2,3
органика	123	99	1,23

Для регенерации фильтра в обоих этапах используется фильтрат, т.е. очищенная вода. Установка оборудована четырьмя поплавковыми расходомерами, показывающими расход исходной воды, рециркулирующей жидкости, воды, используемой для обратноточной промывки, и воздуха.

В полностью автоматическом режиме в течение 4-х месяцев производительность установки поддерживается в диапазоне 2500 л/час (начальная производительность фильтроцикла) – 1800 л/час (конечная производительность фильтроцикла). Селек-

тивность по мутности в значительной мере зависит от размера частиц, содержащихся в исходной воде, удаляя на 95% все взвеси размером более 1,5 мкм.

Выводы

Как непрерывная МФ, так и УФ способствовали снижению мутности воды более, чем на 90–92%, в то время как с использованием традиционных методов предварительной очистки (осаждение, двойная фильтрация, фильтрация с помощью патронных фильтров) эта цифра составляет в среднем 84%.

С помощью непрерывной МФ и УФ получали воду, соответствующую требованиям нанофильтрационной (НФ) системы со снижением уровня SDI примерно на 75–85%.

Как непрерывная МФ, так и УФ приводили к снижению уровня взвешенных твердых частиц и количества бактерий до уровня, при котором эксплуатация НФ системы становилась возможной в течение 3–5 дней между химическими чистками.

Системы непрерывной МФ/ОО и УФ/ОО менее сложны в природе и, следовательно, они более просты для работы, чем традиционные системы. При использовании традиционных методов предварительной очистки возникают определенные затруднения, особенно потребность в химической чистке каждые 3–5 часов для НФ установки вследствие 30% повышения перепада давления исходного рассола и/или 26% снижения потока пермеата.

Для пилотной установки с непрерывной МФ и УФ потребовалось площади на 25% меньше, чем для высокоэффективной традиционной системы и эта разница должна увеличиться на 30–40% применительно к промышленной установке.

При очистке загрязненных стоков с помощью НФ и/или ОО предварительная очистка с применением мембранной системы (непрерывная МФ или УФ) гораздо предпочтительнее, чем традиционная предварительная очистка (например, флокуляция, фильтрование и т.п.). Для некоторых стоков инвестиционные расходы и усложненная процедура делают практически неосуществимой или, по крайней мере, непрактичной предварительную очистку исходных

потоков в НФ и ОО системы с применением традиционных процессов.

Использование технологии интегральные мембранные системы позволяет решать каждую конкретно задачу с максимальной эффективностью, поскольку, в зависимости от размеров загрязняющих частиц в фильтрующем элементе на стадии предочистки применяется либо МФ мембрана с заданным размером пор, либо УФ мембрана с определенным порогом задержания органических веществ.

Библиографический список

1. Redondo J.A. Brackish-, sea- and wastewater desalination – Desalination № 138 (2001) p. 29–40.
2. Предподготовка воды в энергетике. / В.Г. Дзюбенко, А.И. Бон, Н.И. Солонихин, В.П. Дубяга / Мембраны – 2004. Тезисы Всероссийской научной конференции. – М.: Владимир, 2004. – С. 52.

Материал поступил в редакцию 15.03.2016.

Сведения об авторах

Савков Иван Михайлович, научный сотрудник; ЗАО Научно-технический центр «Владипор»; 600016 г. Владимир, Большая Нижегородская ул., д. 77. тел.: +79645577799; e-mail: savkovivan21@gmail.com

Захаров Станислав Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры «Стандартизация и инженерно-компьютерная графика»; Российский химико-технологический университет имени Менделеева; 125047 г. Москва, Миусская пл., д.9; тел.: +79150808015; e-mail: staszaharov@yandex.ru.

I.M. SAVKOV, S.L. ZAKHAROV

The Russian chemical – technological university named after D.I. Mendeleev

NEW METHOD OF WATER PREPARATION USING ULTRA- AND MICROFILTRATION

The problems of purification of water media are now present in practically all spheres of human activity. They are the most critical in power engineering, food industry, biotechnology, chemical industry and utility and potable water supply. Reliability and stability of operation of membrane units for getting, in particular, feed water for high pressure boilers in power engineering to a great extent depend on the quality of water pretreatment before the reverse osmosis stage (RO). Microfiltration MF and ultrafiltration UF allow to decrease the need in membranes for a RO unit by 20% (sometimes more), and also to simplify the process of pretreatment resulting in reduction of operating expenses for the plants. As it has been found the continuous MF and UF are more economical compared to the traditional methods of pretreatment for the whole life time period, especially in those cases when the initial water is heavily contaminated by suspended solids and colloids [1].

Reverse osmosis; nanofiltration; ultrafiltration; microfiltration nanoporous membranes.

References

1. Redondo J.A. Brackish-, sea- and wastewater desalination. – Desalination № 138 (2001) p. 29–40.
2. Prepodgotovka vody v energetike / V.G. Dzyubenko, A.I. Bon, N.I. Solodokhin, V.P. Dubyaga / Membrany – 2004. Tezisy Vserossijskoj nauchnoj konferentsii. – M.: Vladimir, 2004. – P. 52.

The material was received at the editorial office
15.03.2016.

Information about the authors

Savkov Ivan Mikhailovich, a researcher; ZAO Scientific – technical center «Vladipor»; 600016, Vladimir, Boljshaya Nizhegorodskaya ul., d. 77. tel.: +79645577799; e-mail: savkovivan21@gmail.com

Zakharov Stanislav Leonidovich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Standardization and engineering-computer graphics»; The Russian chemical – technological university named after Mendeleev, Miuskaya pl., d. 9; tel.: +79150808015; e-mail: staszaharov@yandex.ru.

УДК 502/504:627.01

Д.Н. ИОНОВ¹, И.И. ГРИЦУК^{1,2}

¹ Институт водных проблем РАН, Москва, Россия;

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА НАНОСОВ КАК РЕЗУЛЬТАТА ДЕФОРМАЦИИ БЕРЕГОВОГО СКЛОНА, ВКЛЮЧАЮЩЕГО В СЕБЯ МЕРЗЛЫЙ ГРУНТ, НА ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ

Процессы термоабразии и термоденудации – одни из основных факторов разрушения морских, речных и озерных берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами (ММП). Исследование, прогнозирование и моделирование разрушения берегов в криолитозоне вызваны производственной необходимостью и представляют большой научный интерес. Деформации русел северных рек и речных склонов, несмотря на имеющиеся проблемы и высокую важность, в настоящее время изучены мало. Особенностью моделируемых условий является подбор материала берегового склона и параметров волновых процессов по характеристикам подобным натурным. В качестве материала, слагающего модель, использовался карьерный люберецкий песок. Выполнен первый этап исследований деформаций берегов на лабораторной модели, сложенных многолетнемерзлыми грунтами, при воздействии волн с различными характеристиками. Прослеживается взаимосвязь между объемами деформаций, их параметрами и волновыми характеристиками. Также выявлена прямая зависимость механизма формирования склона от критериев волновых воздействий.

Транспорт наносов, параметры волнения, деформации берегов, многолетнемерзлые грунты, экспериментальные исследования, лабораторная модель.

Введение. Водный поток в реках вызывает перенос осадка, и соотношение между параметрами потока (направление, скорость, глубина) и количеством переносимого материала является очень интересным и в то же время сложным явлением, что имеет несколько принципиально важных инженерных аспектов: например, эрозии вокруг структур, повторного заполнения очищенных каналов или резервуаров, эрозии в нижних бьефах водохранилищ, морфологические изменения в реках и т.п.

Общий транспорт наносов разделяется на следующие типы:

- влекаемые наносы являются той частью осадка, которая относительно непрерывно взаимодействует с дном;
- сальтирующие наносы состоят из очень мелких частиц, которые перемещаются водой, но со дна не поднимаются;
- взвешенные наносы с дном не взаимодействуют.

Возникновение рифелей увеличивает донное напряжение трения, и эта группа наносов обуславливается общим напряжением трения.

Общий транспорт наносов состоит из сложного взаимодействия между много-