

УДК 556.532

СТОК НАНОСОВ РЕК БАСЕЙНА АЛДАНА И ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

© 2023 г. Д. В. Магрицкий*

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия***E-mail: magdima@yandex.ru*

Поступила в редакцию 07.02.2023 г.

После доработки 12.04.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

Приводятся результаты исследования особенностей и причин уменьшения мутности воды и расходов взвешенных наносов рек (в 1.5–5 раз) в бассейне р.Алдан со второй половины 1980-х и с 1990-х гг. Установлено, что изменения гидрологических факторов за исследуемый период либо были незначительно негативными, либо чаще благоприятными по отношению к формированию и русловому транзиту стока наносов: общая водность рек, в целом, выросла — от <5% на юго-востоке бассейна до 20–30% (и больше) на равнинах низовья Алдана; максимальные расходы воды имели разнонаправленную тенденцию; летний сток снизился; температура воды, как важный фактор термоэрозии, повысилась. С другой стороны, горнодобывающая промышленность прошла через период резкого снижения (в 1990-х гг.) производства и закрытия предприятий и нового возрождения в XXI в., но уже под прессом строгих природоохранных ограничений. Также, начиная с 1990-х гг., уменьшился объем стационарных данных по стоку наносов. Детальное сравнение данных наблюдений за наносами на постах и по месторождениям, их размещению и типу, этапам освоения и динамики добычи, реализации мероприятий по уменьшению негативного воздействия на реки выявило близость многолетних колебаний стока наносов рек и хода основных показателей антропогенного фактора. Кроме того, установлено, что, поскольку начало мониторинга за стоком наносов рек датируется в бассейне Алдана 1950–1970-ми гг., данные с постов с самого начала не фиксировали естественный режим расходов наносов и мутности воды. Тем не менее определены периоды в рядах наблюдений, когда влияние горнодобычи на сток наносов было минимальным, и они близки к условно-естественным значениям.

Ключевые слова: река, пост, мониторинг, сток воды и наносов, добыча полезных ископаемых, антропогенное воздействие

DOI: 10.31857/S0869607123020076, EDN: FRAJLC

ВВЕДЕНИЕ

Расчет характеристик и анализ пространственно-временной изменчивости стока наносов рек, установление закономерностей и их причин, математическое описание причинно-следственных связей, построение карт мутности и т.п. предполагают, что формирование и транзит наносов происходят в естественных условиях. Но это не всегда так, особенно в районах масштабной сельскохозяйственной деятельности и строительства, горной добычи, сооружения водохранилищ. Известно, что последние служат барьером для перемещения речных наносов, существенно уменьшая его естественный сток [4, 26–28]. Горнодобывающие предприятия и техногенные аварии на хвостохра-

нилищах, добыча нерудных материалов в русле и на пойме рек – наоборот, источник поступления дополнительных наносов в реки, фактор увеличения мутности воды и расходов взвешенных наносов [2, 4, 8, 9, 17, 25, 27]. Например, на руч. Левый Тиректах мутность воды ниже комбината “Индигирзолото” составила в 1983 г. 187 г/м³ против 27.5 г/м³ выше по течению, на р. Большой Тарын – 137 и 62 г/м³, на р. Западная (комбинат “Джугджурзолото”) – 639 и 0.75 г/м³ [8]. Гидрологические посты с наблюдениями за речными наносами собирают интегральные данные без учета генезиса наносов, что усложняет их интерпретацию.

В бассейне р. Лена горная добыча ведется давно – в промышленных масштабах с начала XX в. [9, 16, 19, 21], но какие реки и, главное, гидрологические посты находятся в зоне ее реального влияния до сих пор неизвестно. Мало того, измерения мутности воды и расходов наносов на большинстве постов начались в период с 1950-х по 1970-е годы, когда значительная часть месторождений полезных ископаемых (ПИ) уже разрабатывалась. Да и сами посты размещались в районах добычи ПИ. Второй предпосылкой к научному изучению влияния недропользования на сток наносов стал неожиданный результат недавнего обобщения многолетних рядов мутности воды на реках Азиатской части России (АЧР) и отдельно в бассейне Лены [10–12]. Было установлено, что, несмотря на доминирование рек с увеличением водного стока [13, 15], повышением температуры воды и теплового стока, как одного из факторов термоэрозии многолетнемерзлых пород (ММП) [4, 24], почти половина постов показывают статистически значимое снижение стока наносов, именно за счет снижения мутности воды, и начиная с 1990-х гг. Следствие ли это резкого сокращения хозяйственной деятельности в регионе и ее воздействия на сток, или оно связано с изменениями в системе стационарного мониторинга, или это такая реакция стока наносов местных рек на гидроклиматические процессы, объяснить невозможно без всестороннего анализа каждого из этих условий. Это и стало целью работы. Главными задачами выбраны, во-первых, изучение и картирование горнодобывающей деятельности в бассейне Алдана, во-вторых, анализ многолетних изменений стока, водного и термического режима рек, в-третьих, сопоставление результатов первых двух пунктов с характером многолетнего хода наносов рек с целью обоснования или опровержения факта антропогенного влияния.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационной основой для исследований послужили, прежде всего, данные многолетних наблюдений на гидрологических постах в бассейне Алдана и на граничащей с ним р. Ботома (Буотама) с самого начала наблюдений и до 2020 г. Используются данные по среднемесячным, среднегодовым и максимальным расходам воды Q , м³/с (по 22 постам), температурам воды T , °С (5 постов), мутности S , г/м³, и расходам взвешенных наносов R , кг/с (10 постов). Часть пропущенных значений, которых довольно много в рядах R , восстановлена автором по построенным эмпирическим зависимостям со среднемесячными и среднегодовыми расходами воды (при коэффициенте корреляции $r > 0.70$), т.е. вида $R = f(Q)$. Интересно, что для большинства постов, начиная с 1990-х гг., характер зависимостей изменился, а связь стала менее тесной.

Отдельно изучен вопрос качества первичных данных по стоку наносов, предельные ошибки которых не должны превышать $\pm 20\%$, согласно “Наставлениям гидрологическим станциям и постам” (вып. 6, часть 3, 1958 г.). До 1957 г. стационарные данные не были надежными из-за малого объема проб воды и веса наносов на фильтре [14, с. 359]. Часть расходов наносов до 1980 г. была в Якутском УГМС пересчитана, но за годы до 1975 г. обновленные значения в справочниках не приведены [5, с. 286]. Места отбора проб воды с наносами практически не менялись, за исключением 1971–1974 гг. на участке поста Нерюнгри (в связи со строительством моста), с 2005 г. – пост Нагорный (пробы стали отбирать у берега). По данным из Гидрологических ежегодников

(том I, вып. 16), естественный режим стока наносов выше поста Томмот был нарушен в 1983–1993 гг. в связи со строительством автомобильного моста и его дальнейшей эксплуатацией, и до 2000 г. уже из-за строительства железнодорожного моста. О влиянии Нерюнгринского угольного карьера на сток наносов Верхней Нерюнгри (Нерюнгри) сообщается в Гидрологических ежегодниках за 1987–1988 гг. и начиная с 2007 г. Данные пониженной точности приходится в период после 1980 г. на 1994, 1998, 2005 гг. (Томмот), 1987, 1996, 2000, 2008, 2010 гг. (Охотский Перевоз), 1981–1985, 1991, 1992, 1996 гг. (Верхоянский Перевоз), 1985, 2010 гг. (Нагорный), 1983, 1985, 1996–1999 гг. (Чульман), 1985, 2003 гг. (Нерюнгри), 1983–1984 гг. (Амга). Основные причины – нерепрезентативное место отбора пробы, малые навески на фильтрах, нарушения в полевых измерениях. Также, по всей видимости, с начала/середины 1990-х гг. на большинстве постов, за исключением Томмота, измерения R не проводились, и он, как и средняя мутность, определялись по измерениям единичной мутности на постоянной вертикали и не обновляющемуся переходному коэффициенту. Тем не менее, автор в материалах Росгидромета не увидел серьезных инструментально-методических изменений в измерениях и расчетах R .

Другой массив данных составили собранные автором сведения по разрабатываемым (в настоящем и прошлом) месторождениям полезных ископаемых (ПИ). Они включили название и местоположение эксплуатируемого месторождения, тип ПИ и размеры добычи, историю разработки. В работе использованы только открытые данные: векторно-растровые слои и атрибутивные к ним таблицы с сайта “ГИС – Атлас Недр России” [29], ежегодные “Государственные доклады о состоянии окружающей среды Республики Саха (Якутия)” [30], сведения из бумажных и электронных СМИ, научных и справочных публикаций, с сайтов горнодобывающих компаний и др. Важной задачей на этом этапе был отсев месторождений, к реальной разработке которых еще не приступили, поиск закрытых месторождений, установление этапов освоения и динамики объемов добычи. Рассматривались месторождения ювелирных камней, рудных и россыпных благородных металлов, полиметаллов и железной руды, угля, строительного и горнохимического сырья. Реально эксплуатируемые месторождения, пространственные размеры добычи определялись по спутниковым снимкам с сайтов GoogleEarth и ЯндексКарты. Их возможностей было достаточно.

Многолетние ряды Q , R , S и T анализировались на предмет нарушения их временной однородности (с помощью критериев Фишера, Стьюдента, Манна–Уитни, при $\alpha = 5\%$), величина и значимость тренда (на основе критерия Спирмена). Так называемые “переломные годы” в многолетних колебаниях устанавливались с помощью теста Петтит, суммарных и разностных интегральных кривых. Оценивалась относительная разность величин гидрологических характеристик, относящихся к выделенным подпериодам. Для зональных рек они были отнесены к геометрическим центрам водосборов, замыкаемых постами, позволив методом линейной интерполяции провести изолинии. Было проведено историческое и статистическое сопоставление сведений о территориальной и гидрографической локализации, начале, истории развития и масштабах горнодобычи, о многолетней динамике гидрологических факторов стока наносов с самими ежегодными данными по стоку наносов и результатами их обработки. Установлены факты влияния на сток наносов природных и антропогенных факторов.

Основные результаты. Многолетняя динамика гидрологических факторов стока наносов. Сток воды рек в бассейне Алдана, как фактор механической эрозии речных берегов и русел, отвечающий за транзит речных наносов, претерпел важные изменения. Установлено, что в колебаниях годового стока рек серьезные изменения отмечаются в большинстве случаев с середины 1990-х гг. (рис. 1). В итоге началом современного периода выбран 1995 г.

Практически на всех постах этот переход ознаменовался увеличением водности рек (рис. 2а), что согласуется с выводами из [15]. Величина отклонения годового стока с

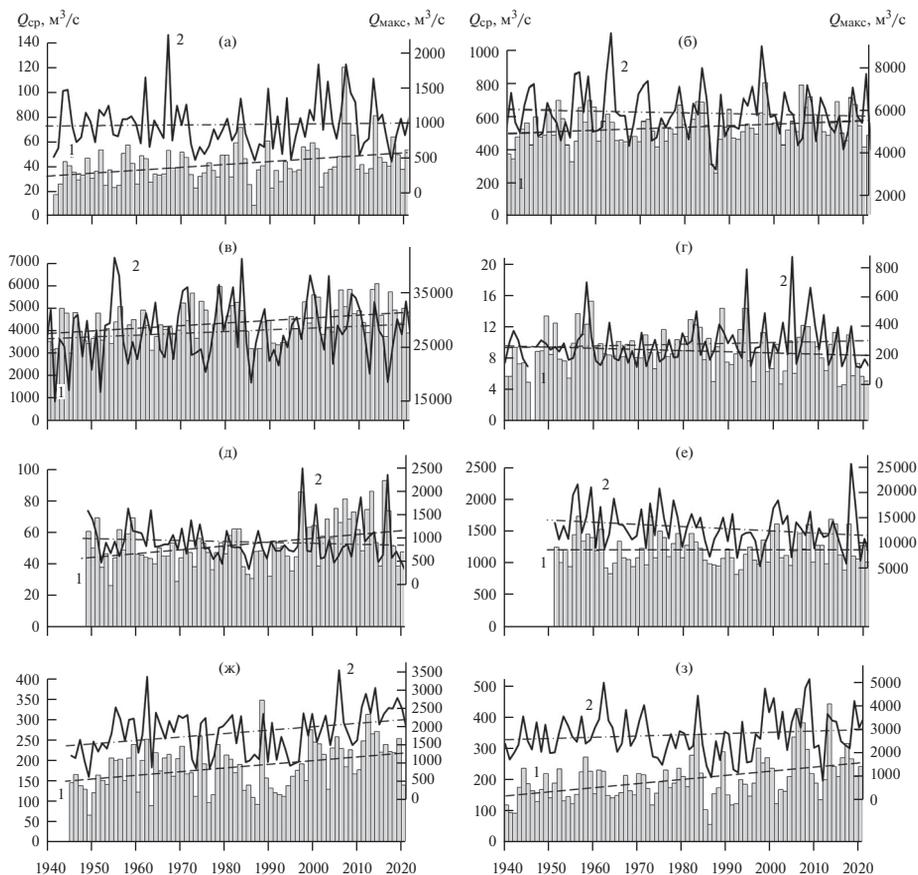


Рис. 1. Многолетние изменения среднегодовых (1) и максимальных (2) расходов воды. Посты: а – Бролог (р. Буотама), б – Томмот (р. Алдан), в – Охотский Перевоз (р. Алдан), г – Нагорный (р. Тимптон), д – Чульман (р. Чульман), е – Чюльбю (р. Учур), ж – Аллах (р. Аллах-Юнь), з – Амга (р. Амга).

Fig. 1. Long-term changes of average annual (1) and maximum (2) water discharges. Gauging stations: а – Brolog (Buotama River), б – Tommot (Aldan R.), в – Okhotskiy Perevoz (R. Aldan), г – Nagorny (Timpton R.), д – Chulman (Chulman R.), е – Chulbyu (Uchur R.), ж – Allah (Allah-Yun' R.), з – Amga (R. Amga).

1996 гг. от величины в 1951–1995 гг. нарастает в северном и северо-западном направлении, т.е. от Станового хребта и Алданского нагорья к равнинам низовья Алдана и Центрально-Якутской равнине, – от 5% (и меньше) до 20–30% (и больше). В 70% случаев эти изменения значимые (по Стьюденту). На замыкающем створе Алдана – Верхоянском Перевозе – изменения составили +14.5%. В течение современного периода $Q_{ср}$ либо сохранялся повышенным, либо испытал дальнейшее повышение, в частности с середины 2000-х гг. Поэтому, за исключением нескольких постов в бассейне р. Тимптон и на среднем Алдане, тренды за 1996–2020 гг. положительные – примерно от 0.5 до 10%/10 лет (рис. 26). Для Верхоянского Перевоза он составил 1.5% за 10 лет.

Рост общей водности рек обеспечен ее увеличением во все сезоны, за исключением летнего – очень важного для формирования стока наносов. Расходы воды в июне уменьшились в среднем на 4–6% (практически на всех постах), в июле – на 0.3–2.8%

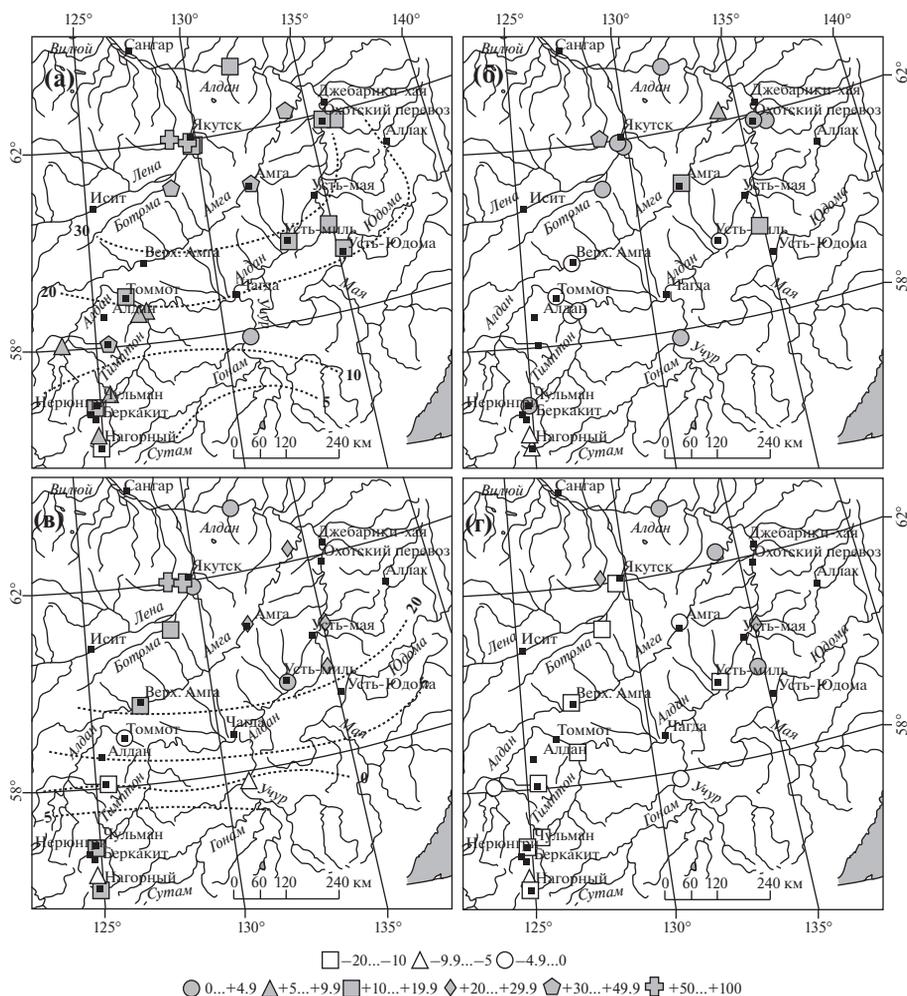


Рис. 2. Карты относительных отклонений (%) среднегодовых (а) и максимальных (в) расходов в 1996–2020 гг. от их средней многолетней величины в 1951–1995 гг. (с изолиниями), и величины линейного тренда за 1996–2020 гг. (в %/10 лет по отношению к стоку за 1951–1995 гг.) (б, г).

Fig. 2. Maps of relative variance (%) of average annual (a) and maximum (в) water discharges in 1996–2020 from their long-term values in 1951–1995. (with isolines), and value of linear trend for 1996–2020. (in %/10 years relative to the runoff for 1951–1995) (б, г).

(90% постов), в августе – на 0.1–1.6% (75% постов). В мае водность на 75% постов была выше, чем в предыдущий период – на 1–5%.

Переломный год в многолетних колебаниях максимальных расходов воды ($Q_{\text{макс}}$) у рек в левобережной части бассейна р. Алдана пришелся на 1996 г., а в правобережной (гористой) – на 1984–1988 гг. У рек Алданского нагорья это был переход в сторону снижения $Q_{\text{макс}}$ (рис. 2в). Но у большинства оставшихся рек $Q_{\text{макс}}$ все же выросли – вплоть до 20–25% к северу от линии, соединяющей посты Буюга (Амга), Усть-Миль (Алдан) и Аллах (Аллах-Юнь). На Верхоянском Перевозе увеличение составило 2.8%. Правда, в отличие от годового стока, на большинстве постов и большей части бассей-

на тренд в колебаниях $Q_{\text{макс}}$ в 1996–2020 гг. убывающий – вплоть до $-15\%/10\text{лет}$ (рис. 1, 2г). Но основное снижение пришлось на 2010-е гг., т.е. не могло служить причиной уменьшения мутности воды рек в 1990-х–начале 2000-х гг.

Особенностью современного периода также стало увеличение дисперсии среднегодовых и, в особенности, максимальных расходов (рис. 1). В большей мере размах межгодовых колебаний увеличился у рек в бассейне Тимптона, что может служить дополнительным фактором улучшения условий формирования стока наносов. Правда статистически значимое различие дисперсий (по Фишеру) выявлено у 37% для $Q_{\text{ср}}$ и 16% для $Q_{\text{макс}}$.

Еще один важный фактор формирования стока наносов рек криолитозоны – температура воды и тепловой сток. Его роль в термоэрозии доказана экспериментальными исследованиями в Центральной Якутии [22]. Возможно, она одна из главных причин современного серьезного увеличения стока наносов нижней Лены [23]. В отличие от водного стока температура воды однозначно повысилась. Причем первый заметный рост зафиксирован в период с конца 1980-х гг. по 1990-е гг., второй, более выраженный, – в 2000-е гг. По данным для пяти постов, для мая положительные изменения составили в среднем 0.5°C , для июня – от 0.5 до 1.5°C , для июля – от 0.3 до 1.0°C , для августа – менее $0.5\text{--}0.7^{\circ}\text{C}$.

География, отраслевая структура и история недропользования в бассейне Алдана. Оно началось с разработки россыпного золота, и по настоящее время золотодобыча остается главной горнодобывающей отраслью в бассейне Алдана. Помимо открытой добычи – из аллювиальных россыпей в долинах рек, в карьерах (на рудных месторождениях) и из технологических отвалов, – золото добывают шахтным способом. Но именно добыча россыпного золота – вблизи рек и в самом русле – напрямую влияет на русловые процессы и сток наносов.

Первое золото начали добывать на рубеже XIX–XX вв. – в бассейнах рек Тимптон и Гонам [1, 16]. Потом золото нашли в бассейнах рек Бол. Нимныр, Орто-Сала и Тырканда. После Гражданской войны до Великой Отечественной пространственный охват и объемы золотодобычи существенно выросли. В первой советской пятилетке в регионе добывали 23% всего золота страны [7]. Добычу организовали: с 1923/1924 г. – в бассейнах рр. Селигдар и Якокит, т.е. выше поста Томмот, с 1928 г. – на р. Бол. Тырканда (правобережье нижнего Тимптона), с 1931 г. – на р. Чюльбю (приток р. Учур), с 1930-х гг. – в верховьях р. Тимптон, но ниже поста Нагорный, с 1934 г. – в бассейнах рр. Ханда и Аллах-Юнь, с конца 1930-х гг. – на междуречье Амги и Алдана, с 1940 г. – на средней Юдоме и др.

В середине и второй половине XX в. в бассейне Алдана выделяются следующие крупные золотодобывающие районы. Это, во-первых, месторождения Аллах-Юньского золотоносного поля в горной части правобережья нижнего и среднего Алдана. Здесь золото добывали на рр. Юдома, Тыры (месторождение Нежданинское) и Аллах-Юнь, их притоках (рис. 3). Важными этапами недропользования стали: расширение добычи в 1960–1970-х гг., достижение пика добычи в конце 1980-х – первой половине 1990-х гг. В 1996 г. Нежданинское месторождение законсервировали и запустили вновь в 2003 г. В 2006 г. построили золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ) рудника “Дуэт”. В 2000-х гг. малые месторождения были практически исчерпаны.

Во-вторых, это Центральнo-Алданский район (ЦАР) с его многочисленными коренными и россыпными месторождениями на междуречье рр. Алдан, Большой Нимныр и Большой Ыллымах (рис. 3а). Это рр. Томмот, Селигдар, Орто-Сала и Бол. Куранах, Якокит, небольшие реки рядом с г. Томмот, их притоки, долины и междуречья. Они расположены выше поста Томмот. Добыча золота здесь началась еще в начале XX в. (в районе нынешнего г. Алдан и в верховьях р. Томмот), но массово – с середины 1920-х гг. Вначале главным способом была дражная добыча россыпей. Но в 1956 г. началась разработка месторождений Куранахского рудного поля. В 1965 г. запущена Куранахская

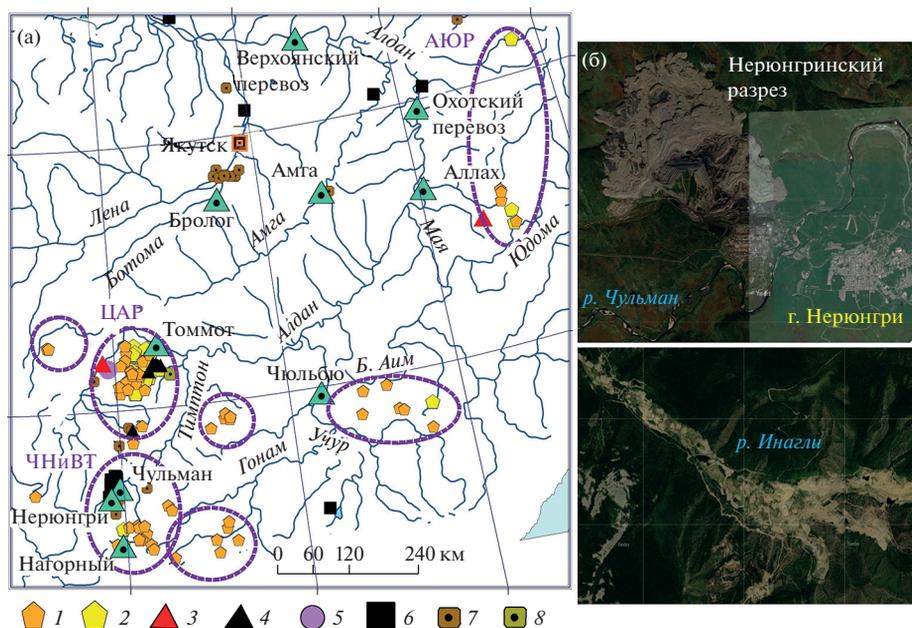


Рис. 3. Карта разрабатываемых месторождений минеральных ресурсов и гидрологических постов с измерениями мутности воды и стока наносов (а): 1 – россыпное золото, 2 – рудное золото, 3 – руды и россыпи цветных металла, 4 – железные, урановые руды, 5 – ювелирные камни, 6 – уголь, 7, 8 – горнохимическое сырье и стройматериалы; (б) – примеры нарушенных ландшафтов в районах добычи полезных ископаемых (ресурс ЯндексКарты).

Fig. 3. Map of exploited mineral deposits and of hydrological stations where water turbidity and sediment load are measured (a): 1 – gold-bearing placers, 2 – ore gold, 3 – ores and placers of non-ferrous metals, 4 – iron, uranium ores, 5 – jewelry stones, 6 – coal, 7, 8 – mining chemical raw materials and building materials; (b) – examples of disturbed landscapes in mining areas (Yandex Maps resource).

ЗИФ [1]. Однако, лишь в 1977 г. построено хвостохранилище для нее [30]. В период с 1960-х гг. и по 1980-й г. объемы добычи золота были самыми большими. К 1990-м гг. многие месторождения оказались выработаны. Правда, новые месторождения продолжают вводить в эксплуатацию, например крупное Рябиновое в 2013 г. Ведутся работы по освоению Эльконской группы месторождений урана, золота и серебра, и в 2019 г. здесь добыто первое золото. В настоящее время ЦАР – основной район золотодобычи в регионе.

В-третьих, это Верхне-Тимптонский район, в районе пгт Нагорный (рис. 3а). Первое золото начали добывать с 1900 г., с расширением деятельности в 1920–1930-х гг., выработкой месторождений в 1940–1950-х гг., новым возрождением с середины 1960-х–начала 1970-х гг. С начала 1980-х гг. основная разработка велась на участке ниже поста Нагорный – между рр. Якут и Иенгра. Выше Нагорного в 1980-х и 1990-х гг. россыпные месторождения практически не разрабатывались. Все изменилось с 2001 г. Вначале была перерыта долина руч. Советский, с 2003 г. – сама р.Тимптон (в 16 км выше поста), в 2013 г. – руч. Медвежий, с 2014 г. – долина Тимптона в районе устья руч. Советский.

Другие небольшие районы – это р. Амедичи (с 1930-х гг. по 1992 г.), Тыркандинский (золото здесь перестали добывать в начале 1950-х гг., но с 1973 г. золотодобыча возобновилась), Верхне-Амгинский (в 1951 г. добыча прекратилась, продолжалась в

1968–1976 гг., возобновилась в 1996 г.), на междуречье р. Учур и притоков р. Мая – рр. Большой Аим и Омня (с середины 1940-х гг., с реорганизацией в середине 1950-х гг.); Сутамский на притоках р. Сутам (бассейн р. Учур); в верховьях р. Мая (месторождение “Красивое”, 2007 г.) (рис. 3а).

Особенностью золотодобычи до середины 1970-х гг. была большая доля старательских артелей и россыпных месторождений (в общем объеме добычи), оказывающих максимальный эффект на величину и режим стока наносов рек. В 1990-х гг. добыча золота в Якутии резко снижается и достигает своего “дна” в 1998 г. [7, 9]. Меньше всего пострадала добыча из россыпных месторождений. Восстановление золотодобычи происходило медленно: к 2010-м гг. ее показатели были на уровне середины 1990-х гг. В последние 10 лет объемы добычи золота резко выросли, в основном за счет наращивания добычи рудного золота [7, 31, 32]. В то же время, в Верхне-Тимптонском районе добыча золота снижается [20].

Вторая по значимости и старейшая горнодобывающая отрасль – угольная. Добыча угля началась в 1934 г. – на Чульманском месторождении. К настоящему времени в бассейне сформировалось 3 угледобывающих района: в бассейне р. Чульман (месторождения Чульмаканское, Денисовское и Нерюнгринское), в низовьях рек Алдан и Амга (Джебарики-Хая и Харбалахское), на крайнем юге бассейна р. Учур (Эльгинское). На Чульмане добыча вначале велась шахтным способом, а с 1954 г. – открытым. До войны здесь добывалось <7 тыс. т угля в год, в 1960 г. – 114 тыс. т [19]. В 1963/1964 г. заработал карьер на огромном Нерюнгринском месторождении – левобережье р. Верхняя Нерюнга, выше поста Нерюнгри (рис. 3б). С 1979 г., с пуском нового разреза, добыча угля увеличилась в несколько раз и достигла в 1989 г. 14.9 млн т [33]. К 1998 г. она снизилась до 8.84 млн т. В 2016 г. было добыто 9.3 млн т.

В 1991 г. на правом берегу Чульмана (в 10 км к югу от пгт Чульман) приступают к разработке Денисовского месторождения [34]. В начале 1990-х гг. добыча здесь составляла 0.1–0.3 млн т/год, с 2009 г. она резко увеличивается и составляет в 2011, 2018 и 2021 гг. 0.65, 2.8 и 7.2 млн т [34, 36]. С 2014 г. началась быстрое освоение Чульмаканского и Верхне-Талуминского месторождений – на левом берегу р. Чульмана, в бассейне р. Локучаakit. Сейчас здесь работает крупнейшая в России Инаглинская шахта, две обогатительные фабрики, открытый разрез.

Эльгинское месторождение – крупнейшее по запасам в стране. Но оно расположено в нескольких сотнях километров от устья р. Учур и поста Чюльбю. Извлечение угля открытым способом началась здесь в 2011 г. В 2019 г. уже добывалось 5 млн т, а в 2021 г. – 18 млн т [6].

Среднее месторождение Джебарики-Хая, примерно в 50 км ниже поста Охотский Перевоз, эксплуатируют с 1940 г. С 1973 г. уголь здесь стали добывать и открытым способом. В 1985 г. пущена в эксплуатацию современная шахта. В 1974 г. добыто 0.36 млн т, в рекордном 1993 гг. – 1.16, в начале 2000-х гг. – 0.55–0.80 млн т/год [18, 36]. В 2004 г. угольный разрез законсервирован, в 2017 г. он снова заработал. Харбалахское малое месторождение находится на левом берегу нижней Амги. Оно разрабатывается с 1967 г. [35].

Среди других разрабатываемых месторождений, которые могли влиять на сток наносов рек, следует назвать, уникальное Инаглинское месторождение хромдиопсида на р. Инагли, впадающей в Алдан выше поста Томмот. Оно разрабатывается открытым способом с 1972 г. С 1991–1992 гг. здесь начали добывать платину. В результате вся долина реки была переработана (рис. 3б). Причем максимальные изменения пришлось на вторую половину 1990-х–начало 2000-х гг. Второе – это Эмельджакское месторождение слюды-флогопита (эксплуатировалось с 1942 по 1999 г.) в бассейне р. Бол. Ыллымах (нижний Тимптон) [21]. Помимо них в бассейне много других разрабатываемых или давно заброшенных небольших месторождений.

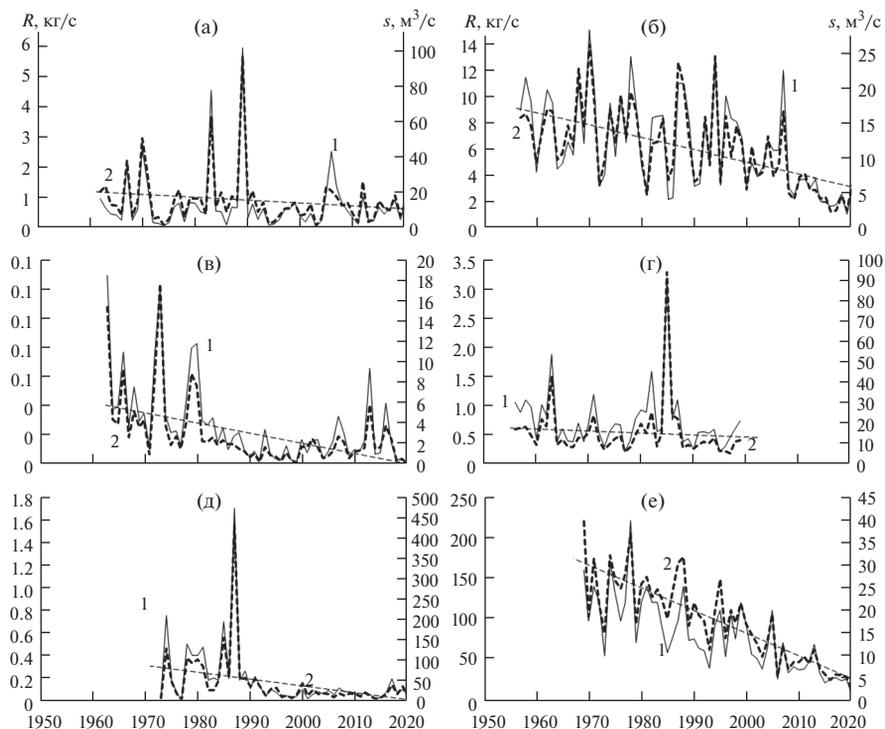


Рис. 4. Многолетние колебания среднегодовых расходов взвешенных наносов (1, сплошная линия) и мутности воды с линейным трендом (2). Посты: а – Бролог (р. Ботома), б – Томмот (р. Алдан), в – Нагорный (р. Тимптон), г – Чульман (р. Чульман), д – Нерюнгри (р. Верхняя Нерюнга), е – Охотский Перевоз (р. Алдан).
Fig. 4. Long-term fluctuations in the annual discharge of suspended sediments (1, solid line) and turbidity of water with a linear trend (2). Gauging stations: а – Brolog (Buotama River), б – Tommot (Aldan R.), в – Nagorny (Timpton R.), г – Chulman (Chulman R.), д – Neryungri (Upper Neryunga R.), е – Okhotskiy Perevoz (R. Aldan).

Сток наносов и его изменения. Особенностью многолетних колебаний мутности воды на постах в бассейне Алдана является ее резкое снижение в последней четверти XX–начале XXI в. (рис. 4, табл. 1). Но с 1990-х гг. расходы и температура воды выросли (рис. 1, 2). То есть основная причина снижения мутности и расхода наносов не в гидрологических факторах. Сток наносов р. Ботома (рис. 4а), находящейся в естественных условиях стокоформирования, изменился мало.

Сравнение многолетних колебаний стока наносов и расходов воды за годы до 1990-х гг. тоже показало много несоответствий. Как ранее отмечено, пост Томмот, с надежными и продолжительными наблюдениями, замыкает территорию ЦАР (рис. 3). В течение всего периода наблюдений, начиная с 1943 г., мутность воды и расходы наносов на посту Томмот снижались (рис. 4б). Максимальными они были в многоводные 1943 г. и 1944 г. (табл. 1), хотя водность этих лет не была экстремальной (рис. 1). В 1950-е и 1960-е гг. сток наносов еще сравнительно большой (8.3 кг/с и 15.4 г/м³). При этом 1960-е гг. маловодные. В 1970-е и 1980-е гг. (вплоть до 1991 г.) R_{cp} и s_{cp} снижаются до 7 кг/с и 13.4 г/м³ (в среднем). В 1980-х гг. произошло уменьшение Q . Однако, главные факторы другие. Это сокращение добычи россыпного золота и активное освоение рудных месторождений; строительство хвостохранилища; возможно, ужесточение контроля за

Таблица 1. Средние за десятилетия среднегодовые расходы взвешенных наносов (кг/с, числитель) и мутность воды (г/м³, знаменатель)**Table 1.** Averaged (over decades) the annual discharges of suspended sediments (kg/s, numerator) and water turbidity (g/m³, denominator)

Река—пост	Период							
	1941— 1950	1951— 1960	1961— 1970	1971— 1980	1981— 1990	1991— 2000	2001— 2010	2011— 2020
Ботома—Бролог	Н.д.	Н.д.	<u>0.90</u> 21.9	<u>0.52</u> 13.4	<u>1.41</u> 34.4	<u>0.45</u> 10.0	<u>0.74</u> 14.1	<u>0.52</u> 10.4
Алдан—Томмот	<u>19.5**</u> 35.7	<u>8.55**</u> 15.4	<u>8.19</u> 16.0	<u>7.69</u> 14.6	<u>6.62</u> 12.7	<u>6.93</u> 12.2	<u>5.33</u> 9.0	<u>2.51</u> 4.5
Тимптон— Нагорный	Н.д.	Н.д.	<u>0.054*</u> 5.9	<u>0.051</u> 5.4	<u>0.019</u> 2.0	<u>0.008</u> 0.9	<u>0.014</u> 1.5	<u>0.017</u> 2.4
Чульман— Чульман	Н.д.	<u>0.89*</u> 17.3	<u>0.73</u> 16.4	<u>0.63</u> 13.0	<u>0.98</u> 21.0	<u>0.51</u> 9.1	Н.д.	Н.д.
Верх.Нерюнга— Нерюнгри	Н.д.	Н.д.	Н.д.	<u>0.29*</u> 66.6	<u>0.42</u> 87.0	<u>0.074</u> 25.0	<u>0.066</u> 14.8	<u>0.068</u> 17.5
Алдан—Охот- ский Перевоз	<u>100**</u> 23.4	Н.д.	<u>128**</u> 30.8	<u>124</u> 26.3	<u>99.0</u> 24.0	<u>81.0</u> 18.5	<u>52.7</u> 11.0	<u>32.1</u> 6.6
Алдан—Верхоян- ский Перевоз	Н.д.	<u>226**</u> 44.0	<u>224</u> 43.3	<u>233</u> 41.9	<u>155</u> 30.2	<u>84.6*</u> 15.3	Н.д.	Н.д.
Учур—Чюльбю	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	<u>17.9*</u> 15.2	Н.д.
Аллах-Юнь—Ал- лах	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	<u>7.6**</u> 45.0	<u>6.0</u> 35.0	<u>10.5*</u> 50.5	Н.д.
Амга—Амга	Н.д.	Н.д.	<u>2.8**</u> 15.5	<u>3.5</u> 18.4	<u>2.5</u> 13.0	<u>2.3*</u> 11.2	Н.д.	Н.д.

* По неполным данным, ** по 1–3 годам.

сбросами. В 1990-х гг. сток наносов Алдана немного увеличился (до 7.8 кг/с и 13.4 г/м³), несмотря на общее сокращение горнодобычи, закрытие предприятий. Повлияло общее увеличение водного стока (правда пики мутности не совпадают с пиками водности (рис. 1)), начало интенсивной добычи платины на р. Инагли, ослабление экологического надзора, сохранение добычи россыпного золота, строительство железнодорожного моста и плохое состояние дамб и хвостохранилищ. В 2000-х гг. $R_{\text{ср}}$ и $S_{\text{ср}}$ уменьшаются, но резкое снижение наблюдается с 2008 г. (до 2.7 кг/с и 4.7 г/м³), несмотря на сохраняющийся повышенный водный сток. Одна из возможных причин в том, что контроль за сбросами стал более строгим, а меры по улавливанию техногенных взвесей более эффективные и обязательные. Если, предположить, что с 2008 г. мы имеем дело со стоком наносов, близким к естественным величинам, то можем оценить степень антропогенного воздействия на него в прошлые десятилетия.

Район в бассейне р. Тимптон, которая впадает в Алдан ниже поста Томмот и выше Охотского Перевоза, объединяет Чульман-Нерюнгринский угольный участок и Верхне-Тимптонский участок (ЧНиВТ) с давно разрабатываемыми месторождениями золота (рис. 3). Здесь расположены три поста – Нагорный на верхнем Тимптоне (данные с 1963 г.), Чульман на р. Чульман (с 1956 по 1999 г.) и Нерюнгри на р. Верхняя Нерюнга (с 1973 г.). Мониторинг за стоком наносов на них начался тогда, когда

месторождения ПИ уже разрабатывались. Правда, добыча угля на Чульмаканском месторождении, вероятнее всего не сильно искажала естественный режим стока наносов Чульмана. Почему? Во-первых, до середины 1950-х гг. она велась шахтным способом, во-вторых, ее объемы были невелики, в-третьих, р. Чульмакан впадает ниже поста Чульман, а р. Локучакиит – всего в 600 м выше поста и с левого берега. При этом сам пост находится на правом берегу, т.е. вне зоны мутьевого шлейфа.

В верховьях Тимптона максимальные величины $R_{\text{ср}}$ и $s_{\text{ср}}$ (в среднем 0.052 кг/с и 5.6 г/м³) и межгодовые флуктуации фиксировались с 1960-х до начала 1980-х гг. (рис. 4в). Далее их величина резко снижается, достигая минимальных и, возможно, естественных показателей в 1990-х гг. (0.008 кг/с и 0.9 г/м³), и вновь немного возрастает в последние 15 лет – до 0.017 кг/с и 2.2 г/м³. Такая тенденция не согласуется с изменениями в водном стоке (рис. 1г), но соответствует характеру развития золотодобычи, правда лишь в 2000-е годы. Нельзя не упомянуть, что с 2005 г. меняется способ и место отбора проб. На рр. Чульман и Верх. Нерюнга наибольшие величины $R_{\text{ср}}$ и $s_{\text{ср}}$ зафиксированы в период, длившийся до конца 1980-х гг., с явным увеличением $R_{\text{ср}}$ и $s_{\text{ср}}$ с конца 1970-х гг. (рис. 4г, 4д, табл. 1). Причем максимальные значения $R_{\text{ср}}$ и $s_{\text{ср}}$ р. Чульман пришлось на маловодный 1985 г. – 3.2 кг/с и 94.1 г/м³. Правда данные приближенные. Все это хорошо согласуется опять же с этапами освоения, прежде всего, Нерюнгринского разреза, о котором свидетельствуют в том числе сведения из Гидрологических ежегодников. С 1988 г. сток наносов Чульмана уменьшается, несмотря на увеличение водного стока реки (рис. 1д), возможно, достигая близких к естественным условиям значений во второй половине 1990-х гг. Такая же тенденция на посту Нерюнгри, но позже – с 1992 г.

К устью сток наносов Тимптона дополнительно нарушался добычей золота на участке между рр. Якут и Иенгра, в Тьркиандинском золотоносном районе, и до 1999 г. – слюды на Эмельджакском месторождении.

Выше поста Охотский Перевоз (с надежными данными) в Алдан впадают также реки Учур, Мая и Аллах-Юнь с золотодобычей в их бассейнах. Ниже него находится среднее месторождение угля Джебарики-Хая, впадают рр. Тыры (с месторождением Нежданинским) и Амга (рис. 3). Водный сток и максимальные расходы воды на посту с конца 1980-х – начала 1990-х гг. увеличились (рис. 1), тогда как $R_{\text{ср}}$ и $s_{\text{ср}}$ уменьшились, начиная с 1989–1993 гг., и особенно резко – с середины – второй половины 2000-х гг. (рис. 4е, табл. 1). И продолжают снижаться, достигнув минимума в 2020 г. На посту Верхоянский Перевоз, с менее надежными данными и расположенном ниже впадения в Алдан притока Амги, это снижение началось раньше – с 1984 г. На р. Амга некоторое сокращение стока наносов обнаружено с середины 1980-х гг. Правда, уменьшение стока наносов на этих постах, сильно удаленных от ЦАР и устья р. Тимптон, Верхне-Амгинского района, слишком большое по своей величине. Поэтому нельзя исключать версию инструментально-методических изменений на постах. Этот вопрос требует дальнейшего изучения, в том числе с привлечением данных спутниковой съемки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенностью современных многолетних колебаний стока взвешенных наносов и мутности воды рек в бассейне Алдана является их значительное уменьшение, начиная со второй половины 1980-х гг. и с 1990-х гг. На посту Томмот его признаки видны уже в самом начале 1980-х гг., но основное снижение мутности и расходов взвешенных наносов произошло в 2000-х гг. и, особенно, с 2008 г. На постах в верхней части бассейна Тимптона оно случилось раньше – в 1980-х гг. (пост Нагорный) и на рубеже 1980-х – 1990-х гг. (посты Нерюнгри и Чульман). Резкое уменьшение стока наносов зафиксировано на постах в низовьях Алдана. На посту Охотский Перевоз оно было 3.5 крат-

ным с середины—второй половины 2000-х гг., но началось раньше — с 1989—1993 гг. На посту Верхоянский Перевоз убывающая тенденция видна с 1984 г.

Такое “падение” нельзя объяснить изменениями величины и режима стока воды, термического режима рек, важного фактора образования наносов в криолитозоне. Они, как показывают приводимые в статье количественные оценки, графики и карта, были благоприятными для роста мутности воды и расходов взвешенных наносов, либо сохранения их прежних значений. Не выявлена и инструментально-методическая подоплека таких изменений.

Таким образом, причина резкого уменьшения мутности воды и, как следствие, расходов наносов другая. Вероятнее всего она связана, во-первых, с отраслевой структурой хозяйственного комплекса этой территории. В нем первое место занимает горная добыча, прежде всего золота и угля, которая долгое время никак не регулировалась природоохранными нормами. Во-вторых, имеет значение местоположение рассмотренных постов, которые замыкают крупные горнодобывающие районы. Сравнение этапов освоения месторождений, многолетней динамики добычи ПИ, строительства новых объектов и их местоположения с многолетними колебаниями стока наносов показало значительное их совпадение. Оно позволило говорить о том, что данные мониторинга практически на всех постах с самого начала не отражали естественный режим расходов наносов и мутности. А их современное уменьшение — это результат резкого снижения горнодобычи и закрытия многих предприятий в 1990-х гг., а также сокращения негативного промышленного воздействия на реки, начиная уже с 1970—1980-х гг. и, особенно, в XXI в.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-17-00181.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алданский улус: История. Культура. Фольклор. Якутск: Бичик, 2004. 280 с.
2. *Алексеевский Н.И., Сидорчук А.Ю.* Ускоренная эрозия в нарушенных горными работами ландшафтах (на примере бассейнов рек Омоля и Яны) // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М., 1992. С. 187—198.
3. *Афанасьева Т.В., Иванова С.А.* Месторождения полезных ископаемых Южной Якутии как объекты геолого-минералогического туризма // Вестник СВФУ. Серия “Науки о Земле”. 2018. № 4(12). С. 60—71.
4. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных воды суши. Т. 1. Вып. 16. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 595 с.
6. *Доценко И.* Как в Якутии создают проект мирового уровня по разработке недр // Российская газета. Экономика Дальнего Востока. 2022. № 189(8837).
7. *Ефремов Э.И., Никифорова В.В.* Отраслевые особенности и территориальные аспекты развития сырьевой экономики Республики Саха (Якутия). СПб., 2014. 224 с.
8. *Захарова Т.Г.* Изменение качества речных вод в результате развития горнодобывающих предприятий // Антропогенное воздействие на водные ресурсы Якутии. Якутск, 1984. С. 36—39.
9. *Иванов В.В.* Трансформация природных комплексов при недропользовании в условиях Якутии. Новосибирск: Наука, 2015. 248 с.
10. *Магрицкий Д.В.* Климатически обусловленные и антропогенные изменения стока взвешенных наносов главных арктических рек Сибири и Дальнего Востока РФ // Труды IV Всероссийской конференции “Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития”. СПб., 2020. С. 248—253.
11. *Магрицкий Д.В., Баницкова Л.С.* Реакция стока наносов рек в бассейне р.Лены на изменение климата и хозяйственную деятельность // Динамика и взаимодействие геосфер Земли.

- Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Т. 2. Томск, 2021. С. 61–64.
12. *Магрицкий Д.В., Морейдо В.М., Прокопьева К.Н.* Изменение каскадом водохранилищ стока взвешенных наносов реки Вилюй // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4. № 1. С. 68–92.
<https://doi.org/10.34753/HS.2022.4.1.68>
 13. Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек РФ. СПб., 2021. 190 с.
 14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 17. Лено-Индибирский район. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 447 с.
 15. *Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И.* Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Водные ресурсы. 2022. Т. 4. № 3. С. 251–269.
 16. *Хатыллаев М.М.* Золотопромышленность Якутии (1923–1937 гг.). Якутск: Якутское кн. изд-во, 1972. 212 с.
 17. *Чалов С.Р., Школьный Д.И., Промахова Е.В., Леман В.Н., Романченко А.О.* Формирование стока наносов в районах разработок россыпных месторождений // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 22–30.
 18. *Шадрин И.* Месторождение каменного угля “Джебарики-Хая” // Пути великих свершений. 28.02. 2022. <https://pvs-rgo.ru/>.
 19. *Чудинов Г.М., Готовцев И.П.* Угольная промышленность и топливный баланс Якутской АССР. М.: Наука, 1969. 156 с.
 20. *Южная Якутия: ресурсный потенциал социально-экономических комплексов: монография.* Уфа: Аэтерна, 2019. 243 с.
 21. 50 лет геологической службы Республики Саха (Якутии): сборник. Москва: Изд-во РосГео, 2007. 380 с.
 22. *Costard F., Dupeyrat L., Gautier E., Carey-Gailhardis E.* Fluvial thermal erosion investigations along a rapidly eroding river bank: Application to the Lena River (Central Siberia) // Earth Surf. Process. Landforms. 2003. № 28. P. 1349–1359.
 23. *Magritsky D.V., Alexeevsky N.I., Aybulatov D.N., Fofonova V.V., Gorelkin A.* Features and evaluations of spatial and temporal changes of water runoff, sediment yield and heat flux in the Lena River delta // Polarforschung. 2018. № 87(2). P. 89–110.
 24. *Magritsky D.V., Vasilenko A.N., Frolova N.L., Shevchenko A.I.* Temporal and Spatial Patterns of Changes in Thermal Regime of the Rivers in the Northeast of the Asian Part of Russia. 1. Assessment of Changes in the Water Temperature // Water Resources. 2023. V. 50. № 2.
 25. *Krishnaswamy J., Bunyan M., Mehta V.K. et al.* Impact of iron ore mining on suspended sediment response in a tropical catchment in Kudremukh, Western Ghats, India // Forest Ecology and Management. 2006. № 224. P. 187–198.
 26. *Syvitski J.P.M., Vörösmarty C.J., Kettner A.J., Green P.* Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean // Science. 2005. № 308. P. 376–380.
 27. *Walling D.E.* The changing sediment loads of the world’s rivers // Sediment Dynamics in Changing Environments. IAHS Publ. 2008. № 325. P. 323–338.
 28. *Walling D.E.* The role of dams in the global sediment budget // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. 2012. № 356. P. 3–11.
 29. <http://atlaspacket.vsegei.ru/#ab5af961d7b653251> – открытая Геоинформационная система: Атлас “Недра России” (дата обращения: 02.11.2022).
 30. <https://minpriroda.sakha.gov.ru/> – официальный сайт Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия) (дата обращения: 02.09.2022).
 31. <https://seligdar.ru/> – официальный сайт холдинга “Селигдар” (дата обращения: 11.01.2022).
 32. <https://polyus.com/ru/> – официальный сайт ПАО “Полюс” (дата обращения: 11.01.2022).
 33. <http://www.yakutugol.ru/> – официальный сайт компании ОАО ХК “Якутуголь” (дата обращения: 11.01.2022).
 34. <https://www.kolmar.ru/> – официальный сайт угледобывающей компании КОЛМАР (дата обращения: 11.01.2022).
 35. <https://oaotelen.ru/> – официальный сайт ОАО “Телен” (дата обращения: 11.01.2022).
 36. <https://miningwiki.ru/> – сайт свободной шахтерской энциклопедии (дата обращения: 11.01.2022).

River Sediment Runoff in the Aldan River Basin and Mining Activities

D. V. Magritsky*

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**E-mail: magdima@yandex.ru*

Abstract—The article contains the results of a study of the features and causes of a sharp decrease of water turbidity and the suspended sediment discharges of rivers (1.5–5 times) in the Aldan River basin, which has been recorded since the second half of the 1980s and 1990s. The possible factors of this decrease are considered in detail. These are the runoff and temperature of water, economic activities, and the method of measurements at the gauging stations. It was found that water runoff, in general, increased in the average range of 5–30%. The maximum water discharges on the different stations had a multidirectional trends. The water temperature, as an important factor of thermal erosion, has increased. That is, hydrological factors could not have caused such a reduction in sediment runoff. Since the 1990s, the reliability of stationary data has decreased. Main reason lies in the mining industry, its degradation in the 1990s, a new revival in the XXI century, but already under the pressure of strict environmental restrictions. Using numerous open sources, the author has built a map of exploited mineral deposits, identified the main stages of their development and the parameters of mining operation. All this information allowed us to substantiate the conclusion about the similarity of long-term fluctuations in river sediment runoff and the dynamics of mining, the stages of discovery and development of deposits, changes in the structure and localization, the implementation of measures to reduce the negative impact of mining on rivers. It was also found that the data of the stations from the very beginning of their collection did not reflect the natural regime of sediment discharges and water turbidity.

Keywords: river, gauging station, monitoring, water and sediment runoff, mining, anthropogenic impact

REFERENCES

1. Aldanskij ulus: Istorija. Kul'tura. Fol'klor. Jakutsk: Bichik, 2004. 280 s.
2. Alekseevskij N.I., Sidorchuk A.Ju. Uskorennaja jerozija v narushennyh gornymi rabotami landshaftah (na primere bassejnov rek Omoloja i Jany) // Jekologicheskie problemy jerozii pochv i ruslovyh processov. M., 1992. S. 187–198.
3. Afanas'eva T.V., Ivanova S.A. Mestorozhdenija poleznyh iskopaemyh Juzhnoj Jakutii kak ob'ekty geologo-mineralogicheskogo turizma // Vestnik SVFU. Serija "Nauki o Zemle". 2018. № 4(12). S. 60–71.
4. Geojekologicheskoe sostojanie arkticheskogo poberezh'ja Rossii i bezopasnost' prirodopol'zovanija / pod red. N.I. Alekseevskogo. M.: GEOS, 2007. 585 s.
5. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vody usshi. T. 1, Vyp. 16. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 595 s.
6. Docenko I. Kak v Jakutii sozdajut proekt mirovogo urovnja po razrabotke nedr // Rossijskaja gazeta. Jekonomika Dal'nego Vostoka. 2022. № 189(8837).
7. Efremov Je.I., Nikiforova V.V. Otrasleyve osobennosti i territorial'nye aspekty razvitija syr'evoj jekonomiki Respubliki Saha (Jakutija). SPb., 2014. 224 s.
8. Zaharova T.G. Izmenenie kachestva rechnyh vod v rezul'tate razvitija gornodobyvajushhih predpriyatij // Antropogennoe vozdejstvie na vodnye resursy Jakutii. Jakutsk, 1984. S. 36–39.
9. Ivanov V.V. Transformacija prirodnyh kompleksov pri nedropol'zovanii v uslovijah Jakutii. Novosibirsk: Nauka, 2015. 248 s.
10. Magrickij D.V. Klimaticheski obuslovlennye i antropogennye izmenenija stoka vzveshennyh nanosov glavnih arkticheskikh rek Sibiri i Dal'nego Vostoka RF // Trudy IV Vserossijskoj konferencii "Gidrometeorologija i jekologija: dostizhenija i perspektivy razvitija". SPb., 2020. S. 248–253.
11. Magrickij D.V., Bانشhikova L.S. Reakcija stoka nanosov rek v bassejne r.Lenya na izmenenija klimata i hozjajstvennuju dejatel'nost' // Dinamika i vzaimodejstvie geosfer Zemli. Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. T. 2. Tomsk, 2021. S. 61–64.
12. Magrickij D.V., Morejko V.M., Prokop'eva K.N. Izmenenie kaskadom vodohranilishh stoka vzveshennyh nanosov reki Viljuz // Gidrosfera. Opasnye processy i javlenija. 2022. T. 4. № 1. S. 68–92.
13. Nauchno-prikladnoj spravochnik: Mnogoletnie kolebanija i izmenchivost' vodnyh resursov i osnovnyh harakteristik stoka rek RF. SPb., 2021. 190 s.

14. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie karakteristiki. T. 17. Leno-Indigirskij rajon. L.: Gidrometeoizdat, 1967. 447 s.
15. Frolova N.L., Magrickij D.V., Kireeva M.B., Grigor'ev V.Ju., Gel'fan A.N., Sazonov A.A., Shevchenko A.I. Stok rek Rossii pri proishodjashhix i prognoziruemyh izmenenijah klimata: obzor publikacij. 1. Ocenka izmenenij vodnogo rezhima rek rossii po dannym nabljudenij // Vodnye resursy. 2022. T. 49. № 3. S. 251–269.
16. Hatyllaev M.M. Zolotopromyshlennost' Jakutii (1923-1937 gg.). Jakutsk: Jakutskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1972. 212 s.
17. Chalov S.R., Shkol'nyj D.I., Promahova E.V., Leman V.N., Romanchenko A.O. Formirovanie stoka nanosov v rajonah razrabotok rossypanyh mestorozhdenij // Geografija i prirodnye resursy. 2015. № 2. S. 22–30.
18. Shadrin I. Mestorozhdenie kamennogo uglja "Dzhebariki-Haja" // Puti velikih svershenij. 28.02. 2022. <https://pvs-rgo.ru/>.
19. Chudinov G.M., Gotovcev I.P. Ugol'naja promyshlennost' i toplivnyj balans Jakutskoj ASSR. M.: Nauka, 1969. 156 s.
20. Juzhnaja Jakutija: resursnyj potencial social'no-ekonomicheskikh kompleksov: monografija. Ufa: Ajeterna, 2019. 243 s.
21. 50 let geologicheskoy sluzhby Respubliki Saha (Jakutii): sbornik. Moskva, Izdatel'stvo RosGeo, 2007. 380 s.
22. Costard F., Dupeyrat L., Gautier E., Carey-Gailhardis E. Fluvial thermal erosion investigations along a rapidly eroding river bank: Application to the Lena River (Central Siberia) // Earth Surf. Process. Landforms. 2003. № 28. P. 1349–1359.
23. Magritsky D.V., Alexeevsky N.I., Aybulatov D.N., Fofonova V.V., Gorelkin A. Features and evaluations of spatial and temporal changes of water runoff, sediment yield and heat flux in the Lena River delta // Polarforschung. 2018. № 87(2). P. 89–110.
24. Magritsky D.V., Vasilenko A.N., Frolova N.L., Shevchenko A.I. Temporal and Spatial Patterns of Changes in Thermal Regime of the Rivers in the Northeast of the Asian Part of Russia. 1. Assessment of Changes in the Water Temperature // Water Resources. 2023. Vol. 50. № 2.
25. Krishnaswamy J., Bunyan M., Mehta V.K. et al. Impact of iron ore mining on suspended sediment response in a tropical catchment in Kudremukh, Western Ghats, India // Forest Ecology and Management. 2006. № 224. P. 187–198.
26. Syvitski J.P.M., Vörösmarty C.J., Kettner A.J., Green P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean // Science. 2005. № 308. P. 376–380.
27. Walling D.E. The changing sediment loads of the world's rivers // Sediment Dynamics in Changing Environments. IAHS Publ. 2008. № 325. P. 323–338.
28. Walling D.E. The role of dams in the global sediment budget // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. 2012. № 356. P. 3–11.
29. <http://atlaspacket.vsegei.ru/#ab5af961d7b653251> – open Geoinformation system: Atlas "The Bowels of Russia".
30. <https://minpriroda.sakha.gov.ru/> – official website of the Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Republic of Sakha (Yakutia).
31. <https://seligdar.ru/> – official website of Seligdar Holding.
32. <https://polyus.com/ru/> – official website of PJSC Polyus.
33. <http://www.yakutugol.ru/> – the official website of JSC HC "Yakutugol".
34. <https://www.kolmar.ru/> – official website of the COLMAR coal mining company.
35. <https://oaotelen.ru/> – the official website of JSC "Telen".
36. <https://miningwiki.ru/> – website of the free mining encyclopedia.