

УДК 550.42

МАСШТАБЫ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СОСТАВА ВЗВЕСИ В СИСТЕМЕ РЕКА ЛЕНА–МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

© 2006 г. О. В. Дударев, И. П. Семилетов, А. Н. Чаркин

Представлено академиком В.А. Акуличевым 21.02.2006 г.

Поступило 21.02.2006 г.

Одними из важнейших показателей, определяющих масштабы трансформации терригенного вещества в системе река–море, являются величины параметров взвеси (ВПВ), поскольку они крайне чувствительны к специфике пород области питания, экзогенным преобразованиям и антропогенному воздействию в процессе мобилизации и переноса [1–4, 8]. С целью детального изучения пространственной и временной изменчивости распределения ВПВ летом 2003 г. проведена междисциплинарная экспедиция Института геохимии СО РАН (Иркутск). Впервые район исследований включал большую часть главного русла р. Лены, начиная с верховьев (660-й км от истоков) до авандельты в море Лаптевых. Работами подобного плана ранее охватывались только нижнее и частично среднее течение этой речной системы [13, 14]. С борта теплохода “Московский-11” выполнено 58 станций, в том числе 11 повторных, на обратном маршруте экспедиции (рис. 1). Во взвеси изучались параметры: общее содержание (ВМ), размерный состав (определения лазерным анализатором “Analysette 22”), органический углерод (С) и общий азот (N), стабильные изотопы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ (масс-спектрометр “Finnigan MAT Delta Plus”, комбинированный с элементным анализатором). Гидрофизическая структура вод регистрировалась STD-зондированием и акустическим доплеровским профилографом течений ADCP. Гидрохимические характеристики определялись стандартными методами.

Пространственная изменчивость ВПВ. Водный сток Лены в 2003 г. был близок к среднесезонному. Время наблюдений на переходе к дельте (25 июня–22 июля) совпало со второй волной весенне-летнего половодья, вызванной дождями и продолжающимся таянием снега в

горных районах водосбора. По синоптическим условиям лето в верховьях реки выдалось маловодным.

Большая часть русла в верхнем течении (0–1463 км от истоков) проходит в глубоко врезанной долине через Северо-Байкальское нагорье. Уклоны водной поверхности на некоторых участках достигали 2.7 м/км [5], чем обусловлена высокая скорость потока и эрозионная направленность русловых процессов. По указанным причинам значения ВМ ограничивались диапазоном 0.2–2.1 мг/л, характерным для горных рек. Неоднородности распределения ВПВ выявились после впадения притока Киренга. Ее воды отличались еще более низким содержанием взвеси, что, в свою очередь, привело к снижению ВМ в главном русле (рис. 1, 2; табл. 1, 2). По вещественно-генетической принадлежности взвесь трансформировалась в терригенно-биогеогенный тип (70% < МК < 50%), в отличие от биогеогенно-терригенного (70% < ОК < 50%) и терригенного (МК > 70%) до слияния с Киренгой. Увеличение вклада ОК под влиянием стока притока Чая, расположенного в 124 км ниже по течению Лены, вызвало появление биогеогенного типа взвеси (ОК > 70%).

Рост водности в главном русле после впадения притока Витима, откуда начинается среднее течение (1463–3077 км), сопровождался аналогичным трендом значений ВМ, МК и переходом взвеси к терригенному типу. Географически обусловленная приуроченность к области интенсивного циклогенеза предопределила высокую повторяемость атмосферных осадков над правобережным водосбором данного участка русла [6]. Расположенный в его бассейне крупнейший приток Алдан обеспечивает 70%-й прирост расходов воды в фазу весенне-летнего половодья, из-за чего ниже слияния с ним Лена приобретает черты мощной речной системы [5]. Русло расширяется до 3–4 км, возрастает количество намывных форм рельефа. Во фронтальной зоне области смешения вод наблюдались мелкомасштабные циклонические круговороты и плотные скопления плавника, растительных остатков на поверхности. Содержание

Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток

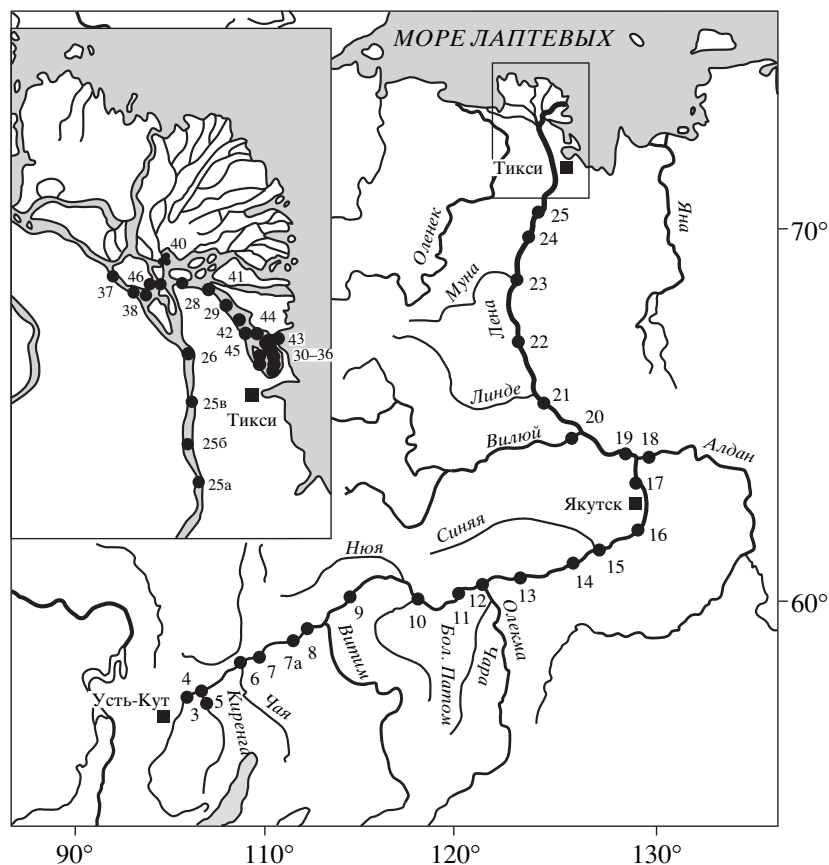


Рис. 1. Маршрут экспедиции и станции комплексных исследований. На врезке – участок главного русла Лены в каньоне Верхоянского хребта и дельта.

взвеси увеличилось в среднем на порядок и достигло 30–77 мг/л. Неоднородности ВМ, усиленные сбросами плавучей драги в низовьях Алдана, визуально фиксировались по пятнистой палеобурой цветовой гамме вод. Взвесь от переходных терригенно-биогеогенного и биогеогенно-терригенного типов трансформировалась в терригенный. Изотопный состав С утяжелился от -30.95 до -24.58‰ (рис. 2; табл. 1, 2).

Последнее существенное увеличение водности обусловлено стоком Виллюя, от места впадения которого Лена переходит в нижнее течение (3077–4232 км). При невысоком ВМ в устье притока (5 мг/л), в главном русле распространялся шлейф матово-бурых по цвету вод с зафиксированным ВМ 190 мг/л и концентрацией С в воде 2274 мкг/л. Состав $\delta^{13}\text{C}$ утяжелился до -19.6‰ (изотопное различие $\Delta\delta^{13}\text{C}$ возросло до 6.2–10.4‰), величина С/Н-отношения увеличилась до 13.2 ($\Delta\text{C/N} = 2.6$), чего не отмечалось нигде на разрезе от верховьев до авандельты. Можно предположить связь выявленной аномалии ВПВ с отходами разработки Лунхутуйского и Сангарского месторождений ископаемых углей (соответственно район станций 21 и 19). В 120 км от слияния с Виллюем до-

лина Лены расширяется до 40–60 км, а русло намывными островами расчленяется на несколько крупных рукавов и проток. Уклоны водной поверхности снижаются, что сопровождается ослаблением несущей способности потока и выведением из водной миграции значительного объема взвеси. От нескольких раз до одного порядка снижаются величины некоторых параметров взвеси и далее остаются на этом уровне до развилки дельты (рис. 2; табл. 3).

Участок главного русла между ст. 24–26 (рис. 1) перед вершиной дельты проходит в тектоническом каньоне Верхоянского хребта. Предполагаемых изменений ВПВ, как, к примеру, резкое увеличение ВМ при входе потока в устье [1, 9, 12], здесь не выявлено. С позиций речной гидравлики это объясняется устойчивостью гидродинамической структуры потока к перестройке из-за неизменности площади его живого сечения, поскольку сужение главного русла компенсируется увеличением глубины с 8–12 до 30 м. На всем протяжении каньона ВМ варьировали от 8.7 до 18.6 мг/л, существенно изменялись и другие ВПВ (рис. 2).

Нижнее течение заканчивается при выходе Лены в дельту (4232-й км), одну из крупнейших в

мире после рек Миссисипи и Меконг. Ширина зеркала потока возросла в несколько раз, уклоны водной поверхности снизились до 0.02 м/км [5]. Растекание речной струи по многочисленным рукавам и протокам сопровождалось ослаблением ее транспортирующей способности и выведением взвеси из переноса. В результате $ВМ$ уменьшается почти в 2 раза, до 7–11 мг/л. Пространственные неоднородности данного параметра в водах Трофимовской, Быковской и Оленекской проток отражали литодинамическую направленность русловых процессов. Над участками размыва гребней перекатов наблюдался рост $ВМ$ до одного порядка относительно вод над глубокими плесами. Фактором дополнительного обогащения взвесью являлся размыв низменных берегов дельтовых островов, сложенных суглинками с прослоями торфа и льда. В дельтовых водах повсеместно сохранялся терригенный тип взвеси. Диапазон $\delta^{13}C$ ограничивался значениями -24.5 – -30.4‰ , $\delta^{15}N$ 2.1–6.1‰, отношения $C/N = 8.7$ – 10.3 (рис. 2; табл. 3).

А в а н д е л ь т а. В период исследований пресные воды (значения солености $<0.009\text{‰}$) распространялись и за пределами дельты, над ее подводной частью в море Лаптевых. Над свалом глубин авандельты начинается этап трансформации состава взвеси в приемном бассейне стока, который включает концентрирование частиц взвеси в зоне подпора и дестабилизацию речных коллоидов и глинистых минералов в результате нейтрализации их отрицательных зарядов катионами морской воды на ранних стадиях смешения [15]. Только на 15-километровом участке между устьем Быковской протоки и свалом глубин результирующий эффект трансформации вещества проявился в увеличении $ВМ$ более чем в 3 раза. Вследствие гравитационной седиментации гидравлически крупных органо-минеральных агрегатов, образовавшихся под влиянием процессов флокуляции и коагуляции, содержание C во взвеси уменьшилось в 3 раза. Устойчивость генетической терригенности состава взвеси коррелировала со слабой изменчивостью значений $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ и C/N -отношения.

Потоки минеральной и органической взвеси в море. Суточные потоки $ВМ$, C и $МК$ из дельты оценены в 26 213 т, 2883 т и 20 446 т соответственно и отражают уровень, характерный для фазы речного стока после прохождения волны паводка (табл. 4). Анализ среднемесячных расходов взвеси свидетельствует, что во время пика паводка эти показатели могут существенно возрастать.

Короткопериодная изменчивость в П В . В период обратного маршрута экспедиции (23 июля–1 августа) продолжался сброс дождевых и талых вод из бассейна Алдана. Прохождение

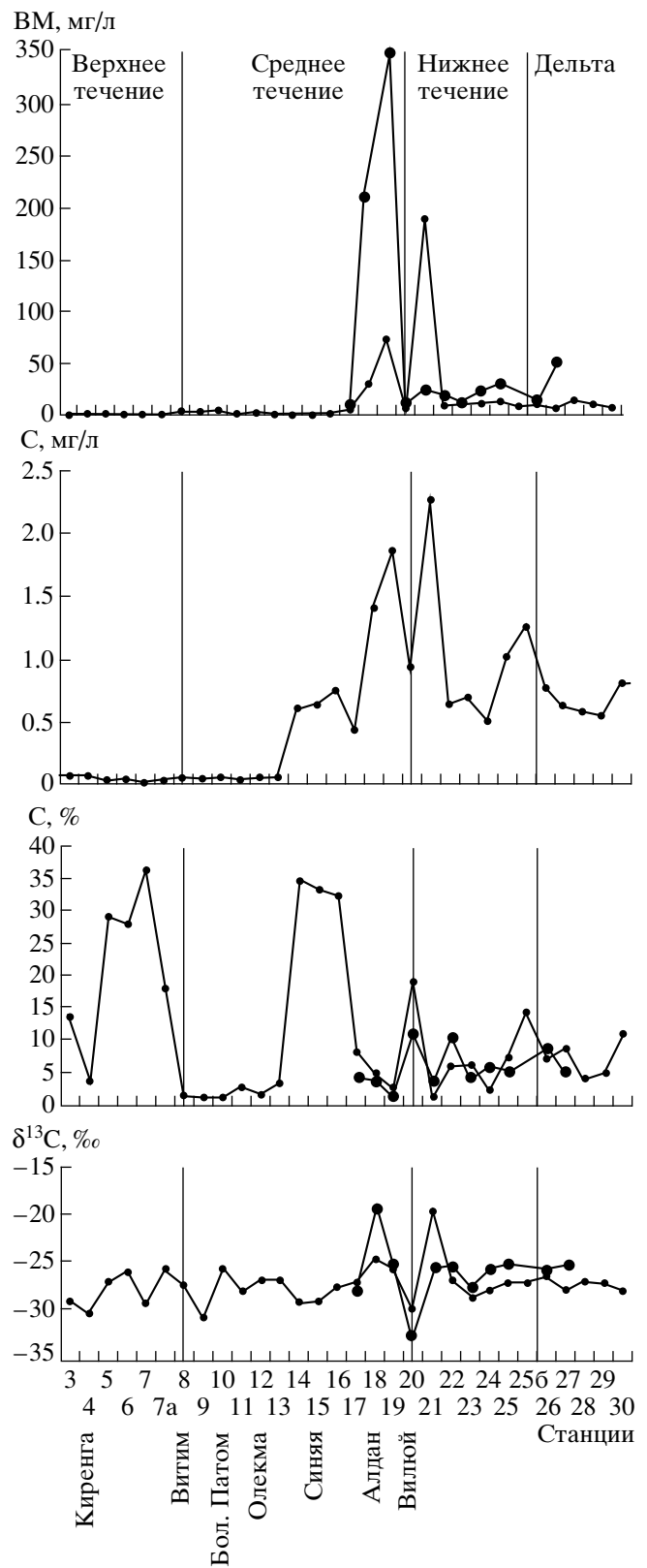


Рис. 2. Пространственно-временные неоднородности состава взвеси на разрезе от верховьев до дельты и обратно (показаны крупные точки).

Таблица 1. Масштабы пространственных неоднородностей ВПВ в водах реки Лены

Параметры	Верхнее течение (ст. 3–7)	Среднее течение (ст. 8–19)	Нижнее течение (ст. 21–25)	Дельта (ст. 26–42)	Авандельта (ст. 43)
ВМ, мг/л ¹⁾	0.12–2.1/0.83	0.8–77.6/11.4	5.0–190.5/32.1	7.3–85.2/22.1	24.3
С, % ²⁾	1.2–36.2/18.5	1.1–33.5/11.7	1.2–18.7/5.3	2.9–11.3/6.3	4.4
С, мкг/л ³⁾	4–71/41	360–1874/502	509–2275/1053	562–2727/1027	1063
N, % ⁴⁾	0.2–5.3/2.6	0.2–3.37/1.3	0.1–2.1/0.8	0.3–1.4/0.7	0.5
N, мкг/л ⁵⁾	3–10/6	5–177/60	58–167/103	58–300/112	120
ОК, % ⁶⁾	2.4–72.4/36.0	2.2–67.0/23.4	2.4–37.5/10.6	5.8–22.6/12.7	8.8
МК, % ⁷⁾	27.6–97.6/64.0	33.0–97.8/76.6	62.5–97.6/89.4	77.4–94.2/87.3	91.2
C/N ⁸⁾	6.9–10.3/8.4	7.7–12.1/9.7	8.5–13.2/9.8	8.0–9.1/9.1	8.9
$\delta^{13}\text{C}$, ‰ ⁹⁾	–31.1...–25.8/–28.3	–30.9...–24.6/–27.9	–30.0...–19.6/–26.8	–30.4...–24.5/–26.7	–25.6
$\delta^{15}\text{N}$, ‰ ¹⁰⁾	0.9–3.3/2.7	1.9–5.4/3.1	2.4–5.0/3.6	2.1–6.1/3.9	3.6
Псаммит, % ¹¹⁾	12.6	1.6–6.2/2.0	1.5–9.5/5.5	4.1–15.6/9.6	1.5
Алеврит, % ¹²⁾	61.1	27.7–60.4/42.6	55.2–56.8/56.0	30.3–61.4/45.9	23.6
Пелит, % ¹³⁾	26.3	33.4–72.3/55.4	33.7–43.3/38.5	34.5–54.4/44.5	74.9
Типы взвеси ¹⁴⁾	API	API, PIA, PI	API	API, PIA	PI

Примечания. Слева от косой черты приведен диапазон значений, справа – средний для выборки показатель.

¹⁾ ВМ – содержание взвеси, ²⁾ – содержание органического углерода во взвеси, ³⁾ – концентрация взвешенного органического углерода в воде, ⁴⁾ – содержание общего азота во взвеси, ⁵⁾ – концентрация общего азота в воде, ⁶⁾ – вклад органической компоненты (рассчитываемый как содержание С во взвеси × 2), ⁷⁾ – вклад минеральной компоненты (100% – ОК), ⁸⁾ – величина C/N-отношения, ⁹⁾ – изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$, ¹⁰⁾ – изотопный состав $\delta^{15}\text{N}$. Гранулометрические фракции взвеси: ¹¹⁾ – псаммит Ps (размерный диапазон частиц 1–0.1 мм), ¹²⁾ – алеврит А (0.1–0.01 мм), ¹³⁾ – пелит (0.01–0.001 мм), ¹⁴⁾ – размерные (литологические) типы взвеси: алеврит пелитовый (API), пелит алевритовый (PIA), пелит (PI).

через развилку дельты очередной волны паводковых вод вызвало рост ВМ в 7 раз по сравнению с вершиной дельты и нижним течением Лены. Примерно в 4 раза увеличилась концентрация С и N взвеси в воде, утяжелился изотопный состав С и N. Шлейф вод матово-бурого цвета с значениями ВМ 214–352 мг/л, соответствующими по этому критерию водам тропического эстуария Меконга [2, 4], теперь прослеживался между устьями Вилюя и Алдана. Площадь покрытия водной поверхности наземным растительным детритом составила 5%, концентрация С и N взвеси в воде увеличилась в 3 раза. Резко утяжелился изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ соответственно до –19.4‰ и 4.8‰ (табл. 2, 3; рис. 2).

Особенности размерного состава взвеси. На всем протяжении главного русла взвесь сохраняла устойчивую дисперсную структуру частиц во время обеих съемок. В гранулометрическом составе доминировали пелит PI (диаметр частиц <0.01 мм, диапазон содержания 26.3–74.9%, среднее 48.9%) и алеврит А (0.1–0.01 мм, 23.3–61.4%, 45.9%). Вклад псаммита Ps (1–0.1 мм) на различных участках Лены колебался в диапазоне 0–15.2%, среднее 5.2% (табл. 1–3). Вариации соот-

ношения взвесеобразующих фракций отражали особенности дифференциации частиц по размерам в соответствии: 1) с исходным гранулометрическим составом источника питания и 2) с изменениями гидравлических характеристик руслового потока. Увеличение содержания Ps не всегда отражало совокупное влияние перечисленных факторов, как это было установлено для взвеси притока Алдана, где при редуцированном до 0% вкладе указанной фракции и значительных турбулентных пульсациях скорости течения прослеживалась более тесная корреляция с фактором 1.

В ы в о д ы. В системе р. Лена–море Лаптевых выделено два типа неоднородностей состава ВПВ: I) формирующиеся без влияния антропогенного фактора и II) обусловленные его воздействием.

Особенности неоднородностей I типа состоят в их природной зональной упорядоченности, отражающей связь: а) с геолого-тектоническим и высотным положением участка русла и водосбора, б) с режимом водного стока и характером русловых литодинамических процессов, в) со степенью подготовленности и устойчивости почв и кор выветривания к мобилизации; г) с биопродуктивно-

Таблица 2. Изменчивость ВПВ в водах верхнего и среднего течения Лены

Параметры	Верхнее течение				Среднее течение					
	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 7	ст. 8	ст. 9	ст. 10	ст. 11	ст.12	ст. 13
ВМ, мг/л	0.5	2.1	0.1	0.1	4.1	4.0	5.3	1.3	3.6	2.0
С, %	13.4	3.6	29.2	36.2	1.2	1.1	1.2	2.8	1.7	3.3
С, мкг/л	67	71	29	43	48	43	61	36	61	66
N, %	1.8	0.5	3.3	5.3	0.2	0.1	0.1	0.4	0.1	0.3
N, мкг/л	9	10	3	6	6	6	7	5	5	6
ОК, %	26.8	7.2	58.4	72.4	2.4	2.2	2.4	5.6	3.4	6.6
МК, %	73.2	92.8	41.6	27.6	97.6	97.8	97.6	94.4	96.6	93.4
С/N	7.5	7.4	8.9	6.9	8.0	7.7	9.6	7.5	12.1	11.3
$\delta^{13}\text{C}$, ‰	-29.3	-30.6	-29.3	-29.5	-27.7	-30.9	-25.9	-28.3	-26.9	-27.0
$\delta^{15}\text{N}$, ‰	3.3	2.6	0.9	4.2	6.5	3.5	5.4	3.5	3.1	1.9
R, км	876	1045	1063	1245	1463	1621	1859	2060	2121	2201
L, км	–	644	–	–	1743	–	505	–	1344	–
S, %	–	1.9	–	–	9.4	–	1.1	–	8.5	–
Псаммит, %	–	–	–	–	12.6	–	–	–	–	–
Алеврит, %	–	–	–	–	61.1	–	–	–	–	–
Пелит, %	–	–	–	–	26.3	–	–	–	–	–
Тип взвеси	–	–	–	–	API	–	–	–	–	–

Параметры	Среднее течение								
	ст. 14	ст. 15	ст. 16	ст. 17		ст.18		ст.19	
				→(1)	←(2)	→	←	→	←
ВМ, мг/л	0.8	1.9	2.3	5.4	11.1	30.3	21.4	77.0	352.2
С, %	34.6	33.3	32.5	8.0	4.3	4.7	3.8	2.4	1.5
С, мкг/л	622	633	761	434	480	1414	817	1874	5133
N, %	3.8	3.7	3.9	0.8	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
N, мкг/л	68	71	91	44	56	123	685	177	529
ОК, %	69.2	66.6	65.0	16.0	8.6	9.4	7.6	4.8	3.0
МК, %	30.8	33.4	35.0	84.0	91.4	90.6	92.4	95.2	97.0
С/N	9.2	8.9	8.4	9.9	8.7	11.4	11.9	10.6	9.7
$\delta^{13}\text{C}$, ‰	-29.4	-29.4	-27.8	-27.5	-28.1	-24.6	-19.4	-25.8	-25.2
$\delta^{15}\text{N}$, ‰	2.4	3.1	3.3	2.1	4.8	3.3	4.8	3.3	5.9
R, км	2400	2432	2488	2695		2870		2940	
L, км	–	–	–	–	–	2211		–	–
S, %	–	–	–	–	–	28.9		–	–
Псаммит, %	–	6.2	–	–	–	1.6	0.0	–	–
Алеврит, %	–	60.4	–	–	–	41.9	40.4	–	–
Пелит, %	–	33.4	–	–	–	56.5	59.6	–	–
Тип взвеси	–	API	–	–	–	PIA		–	–

Примечание. Жирным шрифтом выделены станции в устьевых частях притоков: ст. 5 – Киренги, ст. 8 – Витима, ст. 10 – Большого Патома, ст. 12 – Олекмы, ст. 15 – Синяя, ст. 18 – Алдана. Здесь и в табл. 3: стрелками (1) – станции вниз по течению Лены и (2) – обратно. R – расстояние от истока главной реки, L – длина притока, S – площадь водосбора.

Таблица 3. Изменчивость ВПВ в водах нижнего течения и дельты Лены

Параметры	Нижнее течение									
	ст. 20		ст. 21		ст. 22		ст. 23		ст. 24	
	→ ⁽¹⁾	← ⁽²⁾	→	←	→	←	→	←	→	←
ВМ, мг/л	5.0	11.7	190.5	22.9	10.8	17.5	11.5	12.7	12.0	18.5
С, %	18.7	11.3	1.2	3.8	6.0	10.7	6.1	4.7	2.1	6.0
С, мкг/л	937	1323	2275	869	652	1877	704	593	509	1104
N, %	2.1	1.3	0.1	0.4	0.5	1.2	0.7	0.5	0.5	0.6
N, мкг/л	104	155	167	93	59	205	82	61	58	106
ОК, %	37.4	22.6	2.4	7.6	12.0	21.4	12.2	9.4	4.2	12.0
МК, %	62.6	77.4	97.6	92.4	88.0	78.6	77.8	90.6	95.8	88.0
С/N	9.0	8.6	13.2	9.3	11.1	9.2	8.5	9.7	8.7	10.5
$\delta^{13}\text{C}$, ‰	-30.0	-32.6	-19.6	-26.4	-26.9	-26.4	-28.7	-28.3	-28.0	-26.5
$\delta^{15}\text{N}$, ‰	2.1	2.0	5.0	3.9	2.5	4.9	3.3	3.3	3.4	3.5
R, км	3077		3201		3400		3587		3821	
L, км	2437	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S, %	18.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Псаммит, %	0.0	—	9.5	—	—	—	—	—	—	—
Алеврит, %	27.7	—	56.8	—	—	—	—	—	—	—
Пелит, %	72.3	—	33.7	—	—	—	—	—	—	—
Типы взвеси	PI	—	API	—	—	—	—	—	—	—
Параметры	Дельта*									
	Вершина (ст. 26)		о. Столб (ст. 27)		Быковская протока (ст. 28–36, 41, 42, 44, 45)		Трофимовская протока (ст. 40)		Оленекская протока (ст. 37–39, 46)	
	→	←	→	←						
ВМ, мг/л	10.6	14.9	7.3	50.1	7.4–44.3/24.1		37.4		7.1–85.2/31.3	
С, %	7.3	7.8	8.7	5.4	3.0–11.0/5.1		4.0		2.9–11.3/6.6	
С, мкг/л	778	1156	636	2693	562–1327/946		1486		633–2727/1290	
N, %	0.8	0.8	1.0	0.5	0.3–1.2/0.6		0.4		0.3–1.4/0.8	
N, мкг/л	82	113	72	271	58–154/102		161		74–300/141	
ОК, %	14.6	15.6	17.4	10.8	6.0–22.0/10.2		8.0		5.8–22.6/13.2	
МК, %	85.4	84.4	82.6	89.2	78.0–94.0/89.8		92.0		77.4–94.2/86.8	
С/N	9.5	10.2	8.9	10.0	8.7–9.1/9.4		9.2		8.0–9.1/8.6	
$\delta^{13}\text{C}$, ‰	-26.6	-26.5	-28.1	-25.6	-28.2...-24.5/-26.4		-24.6		-30.4...-26.7/-27.9	
$\delta^{15}\text{N}$, ‰	3.9	4.6	3.1	5.0	2.1–6.1/3.8		4.3		3.4–5.7/4.3	
R, км	0		5		14–111		18		6–29	
L, км	—	—	—	—	—		—		—	
S, %	—	—	—	—	—		—		—	
Псаммит, %	—	—	—	—	4.1–15.6/9.6		—		—	
Алеврит, %	—	—	—	—	30.3–61.4/45.9		—		—	
Пелит, %	—	—	—	—	34.5–54.4/44.5		—		—	
Типы взвеси	—	—	—	—	API, PIA		—		—	

Примечание. Жирным шрифтом выделена станция в устье притока Вилюя. * Расстояния в дельте приводятся от ее вершины (4232 км от истока Лены или условная отметка 0 км) через развилку у о. Столб.

Таблица 4. Расчетные для периода наблюдений среднесуточные величины потоков взвеси и ее компонентов в море Лаптевых

Параметры	ВПВ для расчетов	Протоки дельты			Суммарный поток в море, т
		Трофимовская	Быковская	Оленекская	
Расход воды*, м ³ /с	–	–	6150.0	–	–
Распределение стока между протоками**, %	–	75.0	15.0	10.0	100.0
ВМ, мг/л	7.4	19660.0	3932.0	2621.0	26213.0
С во взвеси, %	11.0	2162.5	432.5	288.3	2883.3
ОК, %	22.0	4325.0	865.0	576.6	5766.6
МК, %	78.0	15335.0	3067.0	2044.4	20446.4

* Данные измерений ADCP Е.Б. Карабанова и S. Armstrong.

** Приводится по [5, 10].

стью вод, биомассой наземной растительности и условиями биогеохимической трансформации. Нарастанию водности Лены по мере впадения притоков не всегда соответствовало увеличение ВМ, так как последнее в большей степени контролируется условиями мобилизации вещества в области питания, чем величиной притока. Аккумуляция является ведущим типом русловых литодинамических процессов на 900-километровом участке нижнего течения перед вершиной дельты, в самой дельте, а также в районах гидрологических фронтов, появление которых обусловлено взаимодействием вод главного русла и притоков. От верховьев Лены к дельте выявлены тренды роста средней концентрации в воде С (в 25 раз) и N (в 19 раз) и уменьшения в 3–4 раза содержания во взвеси С, N, ОК.

Неоднородности II типа формируются в результате техногенных сбросов, нарушают естественную упорядоченность изменения ВПВ и нивелируются до фоновых значений по мере прохождения природных барьеров. Для р. Лены они выделены впервые, поскольку исследованиями других авторов ранее нигде обнаружены не были [13, 14]. При следовании экспедиции к дельте рассматриваемые неоднородности выявлены от устья Алдана, откуда усиленный антропогенным загрязнением собственный сигнал притока прослеживался на 330 км вниз по течению. На обратном маршруте к верховьям Лены такие воды идентифицировались на расстоянии 210 км от впадения Алдана. Изменения дальности распространения шлейфа загрязненных вод, очевидно, свидетельствуют о различиях объемов сбросов и об инъективном характере их поступления.

Признаками техногенного загрязнения являются: а) резкое увеличение ВМ (77–352 мг/л), б) сильное утяжеление изотопного состава взвеси

($\delta^{13}\text{C} = -19.6\text{--}19.4\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 5.0\text{‰}$), из-за возможного фракционирования изотопов под влиянием неорганических процессов в ходе минерализации органического вещества [7], в) рост в несколько раз концентрации С в воде (2275–5133 мкг/л), г) сокращение содержания С (до 1%), д) увеличение вклада МК (до 98%), е) изменения параметров карбонатной системы вод: рост значений рН, концентрации растворенного неорганического С, карбонат- и бикарбонат-ионов и сокращение концентрации углекислоты, ж) уменьшение концентрации растворенного кислорода и кремния.

Воды с перечисленными признаками следует относить к гидрогеохимическим потокам рассеяния, способным к самоочищению на природных барьерах (обычно совмещенных биогеохимическом и седиментационном) под влиянием процессов осаждения минеральных частиц и комплексных органо-минеральных соединений, сорбированных коллоидами и глинистыми минералами.

Благодарим акад. М.И. Кузьмина и Е.Б. Карабанова за предоставленную возможность участия в работах.

Исследования поддержаны РФФИ (гранты 05–05–64213, 04–05–64819, 03–05–65127), ДВО РАН (04–1–07–012), Cooperative Institute Arctic Research NOAA Cooperative Agreement NA17RJ1224.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникиев В.В., Дударев О.В. // ДАН. 1991. Т. 316. № 5. С. 1123–1126.
2. Аникиев В.В., Дударев О.В., Колесов Г.М., Шумилин Е.Н. // Геохимия. 1993. № 5. С. 109–121.
3. Аникиев В.В., Дударев О.В., Колесов Г.М. и др. // Геохимия. 2001. № 1. С. 71–94.
4. Аникиев В.В., Дударев О.В., Шумилин Е.Н. и др. // Геохимия. 2001. № 9. С. 986–996.

5. Антонов В.С. Устьевая область реки Лены (гидрологический очерк). Л.: Гидрометиздат, 1987. 107 с.
6. Бабкин В.И., Постников А.Н. // Метеорология и гидрология. 2004. № 2. С. 96–101.
7. Волков И.И. // Океанология. 2000. Т. 40. № 4. С. 535–538.
8. Дударев О.В., Боцул А.И., Савельева Н.И. и др. В кн.: Состояние морских экосистем, находящихся под влиянием речного стока. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 5–21.
9. Романовский С.И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.
10. Сидоров И.С. Особенности формирования гидрохимического режима устьевой области р. Лены и юго-восточной части моря Лаптевых. Автореф. дис. геол.-минерал. наук. Ростов н/Д., 1992. 24 с.
11. Bagnold R.A. // Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. 1960. V. A249. P. 235–297.
12. Komar P.D. // J. Sediment. Petrol. 1977. V. 47. № 4. P. 1444–1453.
13. Rachold V. In: Land–Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. B.: Springer, 1999. P. 199–222.
14. Rachold V., Hubberten H.-W. In: Land–Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. B.: Springer, 1999. P. 224–237.
15. Sholkovitz E.R. // Geochim. et cosmochim. acta. 1976. V. 40. № 7. P. 831–846.