

УДК 551.482

В.П. ШЕСТЕРКИН

## Многолетняя динамика содержания органического вещества в воде среднего Амура в зимнюю межень

*Проанализированы результаты измерений цветности воды и величины перманганатной окисляемости в воде р. Амур у г. Хабаровск в зимний период 1910–2017 гг. Показано влияние гидроэнергетического строительства в российской части бассейна и хозяйственной деятельности в китайской части бассейна среднего Амура на содержание и сток органического вещества.*

*Ключевые слова:* Амур, органическое вещество, цветность воды, сток, содержание.

**Long-term dynamics of organic matter in the water of the Middle Amur in winter low water.** V.P. SHESTERKIN (Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk).

*The paper analyzes the results of measurements of color of water and permanganate oxidation in the Amur River water near Khabarovsk in the winter period of 1910–2017. The effect of hydropower construction in the Russian part of the basin and economic activity in the Chinese part of the Middle Amur basin on the content and runoff of organic matter is shown.*

*Key words:* the Amur River, organic matter, color of water, runoff, concentration.

Амур – крупнейшая трансграничная река Евразии, сток которой составляет более половины общего стока всех рек побережья Охотского моря. Активизация хозяйственной деятельности в последние годы в бассейне Амура не могла не оказать влияния на содержание и сток органического вещества (ОВ) – важного показателя химического состава поверхностных вод.

Для количественной оценки содержания органического вещества в природных водах большое признание получил метод Кубеля, который основан на окислении ОВ перманганатом калия. По цветности воды судят о концентрации окрашенных органических веществ. Простые и доступные методы определения этих показателей качества вод давно нашли применение в гидрохимических исследованиях, что позволяет изучать многолетнюю динамику содержания ОВ в водных объектах.

В настоящее время анализ материалов Дальневосточного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ДВ УГМС) позволил оценить вынос ОВ водами Амура в Тихий океан за многолетний период [3, 4]. Сток этих веществ в наиболее сложное для рек зимнее время, когда влияние антропогенных факторов проявляется наиболее заметно, изучен меньше. Опубликованные ранее материалы о содержании ОВ в период ледостава в воде р. Амур [2, 10] в последние годы были дополнены новыми данными, которые позволили получить более ясную картину динамики содержания ОВ.

---

ШЕСТЕРКИН Владимир Павлович – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск).  
E-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

## Объекты и методы исследований

Исследования проводили в декабре–марте 1996–2017 гг. на р. Амур у Хабаровска на 5 равномерно распределенных по ширине реки пунктах один-два раза в месяц. Пробы воды отбирали с поверхности. Цветность и величина перманганатной окисляемости воды определялись в ЦКП «Межрегиональный центр экологического мониторинга гидроузлов» при ИВЭП ДВО РАН согласно нормативным документам [5]. Сток ОВ рассчитывали по величине окисляемости и экспериментально найденному коэффициенту пересчета для зимней межени 2,12 [6] отдельно за каждый месяц, затем суммировали за исследуемый период.

В работе помимо авторских данных использованы материалы Центра гидрометеорологических наблюдений провинции Хэйлунцзян за 1899–1987 гг., Амурского бассейнового водного управления за 1975–2017 гг., опубликованные и приобретенные данные ДВ УГМС за 1943–2014 гг.

## Результаты исследования

Первые сведения о содержании ОВ в воде Амура были получены в 1910 г. [12] при изучении состава воды хабаровского водовода, оголовок которого находился в 30 м от берега. Материалы этих наблюдений свидетельствовали о низкой концентрации ОВ в воде (см. таблицу). Близкие значения были получены Н.А. Эвансом в 1928–1935 гг. в районе временного водозабора (по [1]). Вследствие того, что пробы отбирались в правобережной части русла Амура, где доминируют воды р. Усури [11], сток ОВ за этот период времени не рассчитывался.

В военные годы (1943–1944) гидрохимические наблюдения у Хабаровска начинает ДВ УГМС. Полученные в ходе этих работ величины были ниже 3,5 мг О/дм<sup>3</sup> [12], т.е. не отличались от более ранних оценок.

Наблюдения П.И. Жданова в 1946–1955 гг. [1] за химическим составом воды городского водовода, оголовок которого находился в 200–250 м от правого берега, также свидетельствовали о низком содержании ОВ зимой.

По данным начатым в 1949 г. регулярных наблюдений ДВ УГМС, на середине Амура содержание ОВ было выше, чем в 1928–1935 гг. (см. таблицу). Цветность воды находилась

**Величины перманганатной окисляемости (ПО) воды и сток органического вещества в р. Амур у Хабаровска в зимнюю межень 1910–2017 гг.**

Годы	Источник	ПО*, мг О/дм <sup>3</sup>				Водный сток**, км <sup>3</sup>	Сток органического вещества**, тыс. т
		Декабрь	Январь	Февраль	Март		
1910	[12]	5,4		4,0***		13,0	–
1928–1935	По [1]	4,6	3,2	3,1	3,6	11,5	–
1949–1955	ДВ УГМС	7,0	6,4	6,2	6,3	12,1	180,2
1956–1974	–//–	5,7	4,4	4,4	5,0	13,8	144,4
1998–2003	Данные автора	10,5	10,6	10,3	10,1	17,9	394,4
2003–2004	–//–	9,3	8,6	8,6	8,7	22,2	425,1
2007–2009	–//–	11,8	10,4	11,3	9,3	16,6	365,9
2009–2010	–//–	12,1	10,9	10,0	8,7	21,3	460,1
2012–2013	–//–	9,5	9,5	9,5	9,0	30,8	611,6
2013–2014	–//–	10,3	9,3	9,1	7,9	36,6	711,4
2014–2017	–//–	8,4	8,0	7,4	7,1	–	–

\*За месяц, в среднем за период.

\*\*За межень, в среднем за период.

\*\*\*Среднее значение за январь–март 1910 г.

Примечание. Прочерк – отсутствие данных.

в пределах 5–50°, среднее значение составляло 25°. Повышение концентрации ОВ могло быть вызвано появлением в конце войны в верхнем течении р. Сунгари водохранилища Сунхуаху. На это указывает увеличение водности р. Сунгари у г. Харбин. Если в феврале 1899–1944 гг. расход воды у этого пункта изменялся в пределах 11–261 м<sup>3</sup>/с, а среднее значение составляло 112,6 м<sup>3</sup>/с, то в 1945–1955 гг. – 209–495 и 305 м<sup>3</sup>/с соответственно.

В 1956–1974 гг. водность р. Сунгари по сравнению с 1928–1935 гг. возросла в среднем в 1,7 раза, р. Амур у Хабаровска – 1,2 раза. Редкие данные (наблюдения в основном осуществлялись один раз в марте) свидетельствовали о больших различиях в цветности воды (5–46°) и малой величине окисляемости (см. таблицу), вызванных неравномерным распределением этих показателей по ширине реки и доминированием (до 62 %) стока р. Сунгари в стоке среднего Амура [11].

Зарегулирование в 1975 г. р. Зея привело к преобладанию стока этой реки в водном стоке среднего Амура (до 52 % в 1979–1987 гг.), существенному увеличению содержания ОВ в период ледостава [10]. В марте 1976–1980 гг. цветность воды р. Зея у с. Заречная Слобода была в пределах 50–90°, в среднем составляла 72°, по сравнению с 1948–1975 гг. возросла более чем в 4 раза.

При реорганизации системы наблюдений ДВ УГМС величина перманганатной окисляемости была изъята из перечня определяемых показателей, хотя при проведении российско-китайского мониторинга трансграничных водных объектов этот показатель использовался.

В 2000–2002 гг. среди основных притоков среднего Амура максимальным содержанием ОВ характеризовались воды р. Зея (у г. Благовещенск значения цветности воды и величина окисляемости достигали 125° и 12,6 мг О/дм<sup>3</sup>). Средние значения окисляемости, вызванные усилением хозяйственной деятельности в Китае, наблюдались в воде р. Сунгари. Об этом свидетельствуют наблюдения на фарватере Амура в 30 км ниже устья Сунгари (рис. 1). Значительно ниже были значения цветности и окисляемости в воде верхнего Амура, рек Бурея и Усури (до 5° и 6 мг О/дм<sup>3</sup>) [9].

Возрастание в водном стоке среднего Амура доли р. Зея с повышенным содержанием ОВ привело к значительному увеличению его содержания в амурской воде. В 2001–2003 гг. цветность воды у правого берега и на середине Амура постоянно превышала 30°, у левого берега – 55°. Максимальное значение (до 100°), обусловленное низкой водностью, отмечалось у левого берега в январе 2002 г. и марте 2003 г. [11]. Более чем в 2 раза выше, чем в предыдущие годы, была величина окисляемости, которая часто превышала 10 мг О/дм<sup>3</sup> (рис. 2). Максимальные ее значения наблюдались в многоводном январе 1999 г. (до 14,1 мг О/дм<sup>3</sup>) и маловодном декабре 2002 г. (до 14,4 мг О/дм<sup>3</sup>). В обоих случаях они были

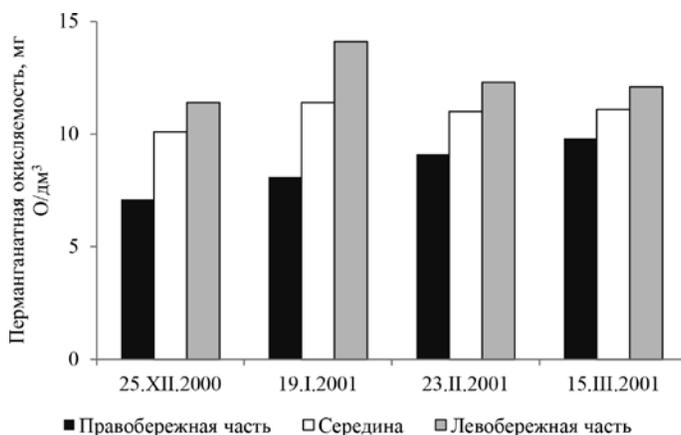


Рис. 1. Изменение величины перманганатной окисляемости в воде по ширине р. Амур у с. Ленинское в зимнюю межень 2000/01 г.

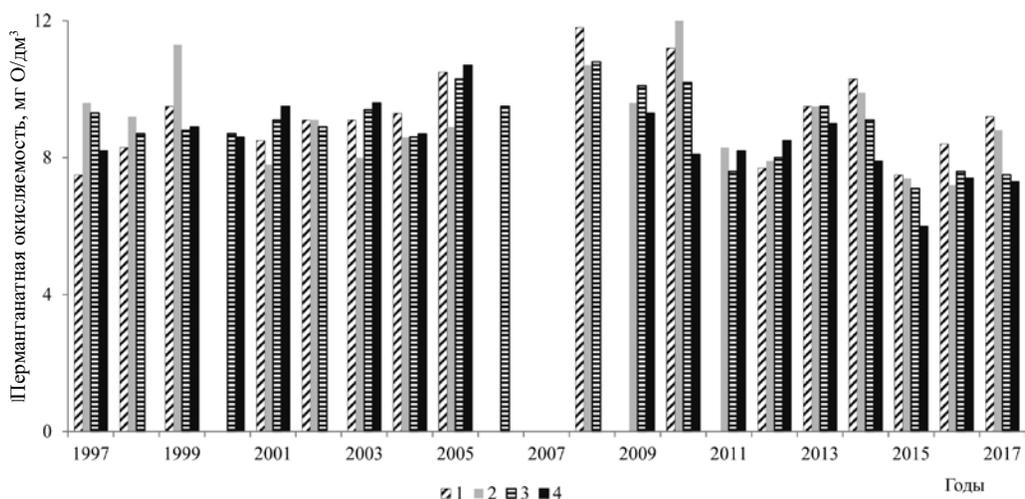


Рис. 2. Динамика величины перманганатной окисляемости в воде р. Амур у г. Хабаровск в зимние межи 1997–2017 гг. 1 – декабрь, 2 – январь, 3 – февраль, 4 – март

вызваны поступлением больших количеств ОБ с водами р. Сунгари: в первом случае – с затопленных сельхозугодий после катастрофического паводка, во втором, вероятно, – со сбросами сточных вод. На это указывают повышение минерализации воды ( $>150 \text{ мг/дм}^3$ ) на середине Амура у Хабаровска, высокое содержание в ней фосфора (до  $0,047 \text{ мг P/дм}^3$ ), аммонийного и нитратного азота (до  $0,98$  и  $0,63 \text{ мг N/дм}^3$  соответственно). Повышенной на большей части реки была цветность воды (до  $60^\circ$ ). В эти годы впервые было отмечено появление «химического» запаха в воде [11] и водного гриба *Leptomitus lacteus* – индикатора органического загрязнения [13].

Большие изменения в содержании ОБ произошли с появлением в 2003 г. Бурейского водохранилища, вода которого, в отличие от Зейского, имеет более низкую цветность [7] и средние величины перманганатной окисляемости. В марте 2004 г. их значения в воде р. Буря ниже плотины составляли  $42^\circ$  и  $9,2 \text{ мг O/дм}^3$ , т.е. по сравнению с 1949–1975 гг. возросли в среднем в 3,0 и 1,6 раза соответственно. Сток ОБ за указанный период повысился в 9 раз [8]. Стабильные расходы воды Зейской ГЭС (в среднем  $709 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и начальные расходы Бурейской ГЭС (в среднем  $220 \text{ м}^3/\text{с}$ ) обусловили в зимнюю межень 2003/04 г. увеличение водности Амура и стока ОБ (см. таблицу).

По мере наполнения Бурейского водохранилища и соответственно увеличения расходов воды р. Буря цветность амурской воды у Хабаровска стала постепенно снижаться, а содержание ОБ (вследствие затопления почв и растительности) – возрастать (рис. 2).

Большое влияние гидротехнического строительства на содержание ОБ проявилось в маловодные зимы 2007–2009 гг., когда расходы воды р. Амур у Хабаровска были ниже  $1600 \text{ м}^3/\text{с}$ , а сток рек Зeya и Буря в среднем суммарно составлял  $1293 \text{ м}^3/\text{с}$ . Поэтому в декабре 2007 г. в левобережной части Амура величина окисляемости при цветности воды  $50^\circ$  достигала  $15,1 \text{ мг O/дм}^3$ .

Повышенным было содержание ОБ и на остальной части Амура, за исключением правобережной, где величина перманганатной окисляемости не превышала  $3,0 \text{ мг O/дм}^3$ . Цветность воды при этом изменялась от  $10^\circ$  в правобережной части до  $60^\circ$  в левобережной части реки. Среднегодовая величина окисляемости в 2007–2009 гг. составляла в среднем  $10,4 \text{ мг O/дм}^3$ , а цветность воды –  $45^\circ$ , т.е. эти показатели по сравнению с 1949–1955 гг. были выше в 2,7 и 1,8 раза соответственно. Аналогичные значения этих показателей сохранялись в последующие годы [11], что свидетельствует о стабилизации содержания ОБ в водах Амура в период ледостава, сглаживании различий между зимними и летними значениями (в летнюю межень в июле 2007 г. они находились в пределах  $9,2$ – $13,6 \text{ мг O/дм}^3$ ).

Такие преобразования в содержании ОВ при малой водности Амура обусловили и более низкий, чем ранее, сток органического вещества (см. таблицу).

С завершением строительства Бурейской ГЭС суммарный сток рек Зeya и Бурeya в 2009–2010 гг. впервые превысил 1660 м<sup>3</sup>/с, т.е. был выше, чем сток Амура в маловодные зимы 2007–2009 гг. Сток ОВ в р. Бурeya в 2008 г. достигал 919 т/сут, по сравнению с 1949–1988 гг. повысился в 22 раза [8]. В воде р. Амур в это время отмечались повышенные концентрации ОВ (рис. 2). В декабре 2009 г. перманганатная окисляемость в левобережной части реки достигала максимального за весь период мониторинга значения (15,4 мг О/дм<sup>3</sup>). В условиях высокой водности Амура существенным был и сток ОВ (см. таблицу).

В последующие годы водность Амура зимой оставалась повышенной, причем в 2012–2014 гг. являлась максимальной за период ледостава. В 2012–2013 гг. она была обусловлена высокими расходами воды рек Зeya и Бурeya, которые суммарно составляли 1760–2160 м<sup>3</sup>/с. Большую роль, вероятно, сыграло и появление новых водохранилищ в бассейне р. Сунгари. Данное предположение основано на увеличении содержания сульфатного иона. Если в 2011–2012 гг. его содержание в амурской воде у Хабаровска составляло в среднем 7,2 мг/дм<sup>3</sup>, то в 2012–2013 гг. – 10,7 мг/дм<sup>3</sup>. Повышенным было и содержание ОВ (см. таблицу), наибольшее значение которого (11,8 мг О/дм<sup>3</sup>), как и ранее, отмечалось в левобережной части русла Амура. Более высоким (7,2–5,3 мг О/дм<sup>3</sup>, при среднем значении 6,3 мг О/дм<sup>3</sup>), чем в предыдущие годы, было его содержание у правого берега Амура (рис. 3). Это свидетельствует об усилении хозяйственной деятельности в бассейне р. Усури, прежде всего в его китайской части. При таких концентрациях ОВ и высокой водности Амура сток органического вещества по сравнению с 1949–1955 гг. был выше в 3,4 раза.

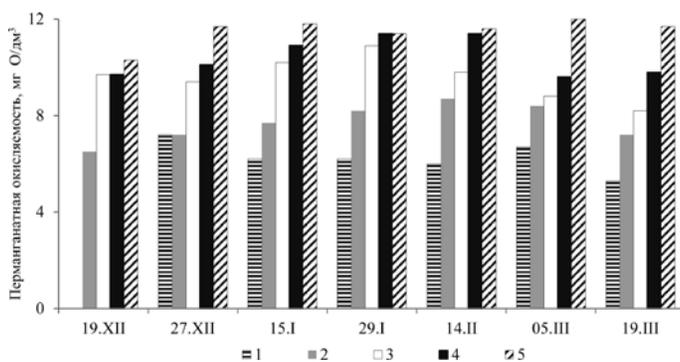


Рис. 3. Изменение величины перманганатной окисляемости в воде р. Амур по ширине у г. Хабаровск в многоводную зимнюю межень 2012/13 г. Расстояние от правого берега: 1 – 350 м, 2 – 500, 3 – 700, 4 – 900, 5 – 1100 м

Максимальный зимний сток ОВ в р. Амур за весь период наблюдений отмечался после исторического наводнения в 2013 г. В основном этот сток формировался в результате значительных расходов воды Зейского и Бурейского водохранилищ, которые суммарно составляли 1922–2339 м<sup>3</sup>/с. Определенное влияние на водный сток Амура мог оказать и сток почвенно-грунтовых вод. На это указывает более высокая, чем в 2007–2012 гг., величина минерализации (среднее значение составило 101,4 мг/дм<sup>3</sup>, максимальное – 145,5 мг/дм<sup>3</sup>). При такой высокой водности Амура, хотя и более низкой, чем в 2007–2010 гг., концентрации ОВ (рис. 1), сток органического вещества по сравнению с 1949–1955 гг. был в 3,9 раза выше.

В последующие зимы (2014–2017 гг.) расходы воды Зейского и Бурейского водохранилищ находились на уровне 2011–2012 гг., т.е. были не столь высокими. Не сильно различались в этот период времени величины цветности и перманганатной окисляемости в амурской воде (см. таблицу), что позволяет предполагать невысокий сток ОВ.

Дальнейшие преобразования в Приамурье, обусловленные появлением Нижнебурейского водохранилища, а также строительством Нижнезейской, Селемджинской и других ГЭС, приведут к увеличению водности Амура зимой и соответственно стока органического вещества.

### Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о больших изменениях в содержании и стоке органического вещества в зимнюю межень в водах среднего Амура за более чем вековой период. В районе г. Хабаровск наиболее низкие величины перманганатной окисляемости отмечались в 1910–1935 гг. Значительные изменения произошли с развитием гидроэнергетического строительства в бассейне Амура. Появление водохранилища Сунхуа в верхнем течении р. Сунгари в Китае привело к повышению содержания органического вещества в воде среднего Амура в 1,8 раза. Зарегулирование р. Зея в 1975 г. обусловило повышение в 1998–2003 гг. по сравнению с 1949–1955 гг. значений перманганатной окисляемости и цветности воды в Амуре в 2,1 раза, стока органического вещества – в 2,2 раза. В маловодные годы в левобережной части Амура значения цветности впервые достигали 100°. С завершением наполнения Бурейского водохранилища сток органического вещества в воде р. Амур в 2009–2010 гг., по сравнению с 1998–2003 гг., увеличился в 1,2 раза, значения перманганатной окисляемости впервые достигли 15,4 мг О/дм<sup>3</sup>.

Максимальный сток органического вещества отмечался после исторического наводнения на р. Амур в 2013 г. В самую многоводную за весь период наблюдений зимнюю межень 2013–2014 гг., по сравнению с 1949–1955 гг., значения перманганатной окисляемости были выше в среднем в 1,4 раза, цветности воды – в 2,7 раза, стока органических веществ – в 3,9 раза.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жданов П.С. Санитарная оценка р. Амур как источника водоснабжения г. Хабаровска: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Хабаровск, 1957. 24 с.
2. Левшина С.И. Содержание и динамика органического вещества в водах Амура и Сунгари // География и природ. ресурсы. 2007. № 2. С. 44–51.
3. Мальцева А.В., Тарасов М.Н., Смирнов М.П. Сток органических веществ с территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 118 с. (Гидрохим. материалы; Т. 102).
4. Никаноров А.М., Смирнов М.П., Клименко О.А. Многолетние тенденции общего и антропогенного выноса органических и биогенных веществ реками России в арктические и тихоокеанские моря // Водн. ресурсы. 2010. Т. 37, № 3. С. 318–328.
5. РД 52.18.595-96. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды (с Изменениями № 1, 2, 3). – <http://docs.cntd.ru/document/1200036098> (дата обращения: 3.02.2018 г.).
6. Смирнов М.П. Формирование органических веществ и минерализации речных вод зоны широколиственных лесов и лесостепи СНГ // Гидрохим. материалы. 1994. Т. 111. С. 105–138.
7. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние Зейского и Бурейского водохранилищ на зимний гидрохимический режим Среднего Амура // Дружининские чтения. Вып. 2. Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Хабаровск, 28 февраля – 3 марта 2005 г. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 63–65.
8. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Бурея // Водн. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 4. С. 72–83.
9. Шестеркин В.П. Зимний гидрохимический режим Амура // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 4. С. 35–43.
10. Шестеркин В.П. Изменение содержания органического вещества в воде Амура у Хабаровска в зимнюю межень // География и природ. ресурсы. 2012. № 3. С. 100–104.
11. Шестеркин В.П. Изменение химического состава речных вод в Хабаровском водном узле за столетие // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 2. С. 112–118.

12. Эбергард А.И., Белохвостов С.И. Вода центральной части города Хабаровска (в летнее время) // Материалы по изучению Приамурского края. Вып. 20. Тр. 1-го съезда врачей Приамурского края 23–28 августа 1913 г. в г. Хабаровске. Хабаровск: Тип. канцелярии Приамур. генерал-губернатора, 1914. С. 125–134.

13. Юрьев Д.Н., Гаретова Л.А., Шестеркин В.П., Сиротский С.Е. О массовом развитии водного гриба *Leptomitius lacteus* в р. Амур в период ледостава // Геохим. и биогеохим. процессы в экосистемах Дальнего Востока. Вып. 9. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 153–160.

## Новые книги

**Урусов В.М. Дальний Восток и Северная Пацифика – ценогенез (подведём черту).**  
Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2018. 243 с. ISBN 978-5-9500648-1-4

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН*  
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7  
Факс: 8 (423) 231-21-59. E-mail: [geogr@tig.dvo.ru](mailto:geogr@tig.dvo.ru)

Монография посвящена эволюции флоры и растительности Дальнего Востока и севера Пацифики. Рассмотрены до наших работ не решённые вопросы – эволюции сосудистых растений, включая смену как минимум десятков миллионов лет адаптивной эволюции на порядки более быстрым гибридогенезом, эволюции хвойных и других субальпийцев, обусловленной развитием особых разнопорядковых гигантских структур рельефа, генезиса растительных сообществ в условиях однонаправленных изменений климата, смещённых в квартере ротациями системы стадиял–межстадиял. Маятник гибридизации, во-первых, инспирирован слишком быстрым для нормальных адаптаций смещением, изменением высотных растительных зон и границ ландшафтов вслед за раскачкой глобального климата, во-вторых, наложением населения разных экологических ниш при изменении его половой структуры. Но это самая молодая гибридизация. В миоцене тоже сформированы гибриды – под давлением глобальной усушки климата Центральной Евразии. Показана малая эволюционная продуктивность и перспективность климатических ротаций стадиялов–межстадиялов и вулканизма. Но гибридные таксоны часто хозяйственно ценны.

Работа рассчитана на биогеографов, ботаников, экологов, лесоводов.