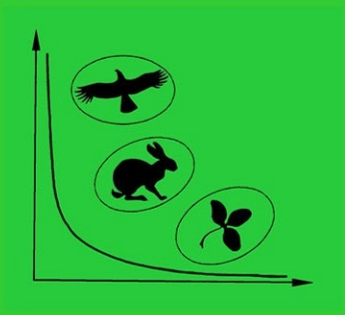
ISSN 2542-2006

Том 1 Номер 3 Сентябрь 2017
Volume Number September



ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА
ECOSYSTEMS: ECOLOGY AND DYNAMICS

Журнал освещает результаты фундаментальных исследований и прикладных работ по изучению состояния, закономерностей процессов и динамики в природных, антропогенно созданных и/или антропогенно нарушенных экосистемах любого ранга (от биотопа до биосферы), а также в отдельных компонентах этих экосистем (как живых, так и неживых) повсеместно: во всех природных зонах и ландшафтах, на суше и в водной стихии. Статьи соотвествующей тематики принимаются по следующим научным направлениям: география, биология, лесное и сельское хозяйство.

The journal highlights the results of fundamental and applied investigations on the study of the state, processes and dynamics in natural, anthropogenic and/or anthropogenically disturbed ecosystems of any scale (beginning from biotope and up to biosphere) as well as in separate components of those ecosystems (alive and lifeless) everywhere: in all natural zones and landscapes, on land and in the water. Papers on the related topics submitted to the journal should be related to the following branches of science: geography, biology, forest and agricultural management.

МОСКВА
MOSCOW

2017

WATER PROBLEMS INSTITUTE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ECOSYSTEMS: ECOLOGY AND DYNAMICS

Vol. 1, No. 3, 2017, September
Journal is founded in January 2017
Issued 4 times per year

Editor-in-Chief, Dr. geogr. Zh.V. Kuzmina

Editorial Council:
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences
V.I. Danilov-Danilyan,
Academician of the Russian Academy of Sciences K.N. Kulik,
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.V. Melikhov,
Academician of the Russian Academy of Sciences A.S. Rulev

Editorial Board:
M.V. Bolgov, A.N. Gelfan, E.I. Golubeva, L.P. Gruzdeva, T.V. Dikariova,
N.G. Mazey, N.M. Novikova, G.N. Ogureeva, E.I. Pankova, S.A. Podolskiy,
E.G. Suslova, A.S. Viktorov, M.F. Vundtsettel, L.G. Yemelyanova

Executive Secretary:
E.I. Tobolova

Head of Editorial Office:
O.S. Grinchenko

Addresses of Editorial Offices:
Russia, 119333 Moscow, Gubkina str., 3, WPI RAS
Tel.: (499) 135-70-41, (499) 135-70-31. Fax: (499) 135-54-15
E-mail: dynamics-journal@yandex.ru
http://www.ecosystemsdynamic.ru

MOSCOW

2017

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ЭКОСИСТЕМЫ:
ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА

Том 1, № 3, 2017, сентябрь
Журнал основан в январе 2017 г.
Выходит 4 раза в год

Главный редактор
доктор географических наук
Ж.В. Кузьмина

Редакционный совет:
член-корреспондент Российской академии наук В.И. Данилов-Данильян,
академик Российской академии наук К.Н. Кулик,
член-корреспондент Российской академии наук В.В. Мелихов,
академик Российской академии наук А.С. Рулев

Редакционная коллегия:
М.В. Болгов, А.С. Викторов, М.Ф. Вундцеттель, А.Н. Гельфан, Е.И. Голубева,
Л.П. Груздева, Т.В. Дикарева, Л.Г. Емельянова, Н.Г. Мазей, Н.М. Новикова,
Г.Н. Огуреева, Е.И. Панкова, С.А. Подольский, Е.Г. Суслова

Ответственный секретарь:
Е.И. Тоболова

Заведующий редакцией:
О.С. Гринченко

Адрес редакции:
Россия, 119333 Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН
Телефон: (499) 135-70-41, (499) 135-70-31. Факс: (499) 135-54-15
E-mail: dynamics-journal@yandex.ru
http://www.ecosystemsdynamic.ru

Москва

2017

© Журнал основан в 2017 г.
Учрежден и издается
Институтом водных проблем Российской академии наук.
Журнал как сетевое издание зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций; свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77-68782 от 17.02.2017.
Журнал зарегистрирован в Национальном центре ISSN Российской Федерации, а также в научных электронных библиотеках НЭБ, РИНЦ, КиберЛенинка.

The journal has been founded in 2017.
It was founded and published by the
Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences.
The Journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (in Roskomnadzor) as a web Media;
Certification Number is ЭЛ № ФС 77-68782 of 17.02.2017.
The Journal is registered in National centre ISSN of Russian Federation, and also in scientific electron libraries Elibrary, Science Index, CYBERLENINKA.

Информация о журнале, правила для авторов располагаются на сайте
http://www.ecosystemsdynamic.ru

Information about Journal and Rules for authors are at the site
http://www.ecosystemsdynamic.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Том 1, номер 3, 2017 сентябрь

УПРАВЛЕНИЕ АГРОЭКОСИСТЕМАМИ И ИХ КОМПОНЕНТАМИ

Изменение стратегии управления водными ресурсами в мелиоративной отрасли сельскохозяйственного производства в современных климатических условиях

В.В. Мелихов 5-14

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Водно-экологические проблемы Волго-Ахтубинской поймы

М.В. Болгов, К.Ю. Шаталова, О.В. Горелиц, И.В. Землянов 15-37

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Обезлесение – одна из важнейших экологических проблем бассейна озера Байкал

П.Д. Гунин, С.Н. Бажа, Б.Ц. Балданов, Т.Г. Басхаева, Ю.И. Дробышев, Ч.Дугаржав, С.В. Концов, В.Л. Убугунов, В.И. Убугунова, С. Хадбаатар, Э.Г. Цыремпилов 38-99

Оценка экологического состояния реки Яхромы по гидрохимическим показателям

Н.В. Кузнецова 100-115

Пространственно-временные особенности изменения состояния степной растительности Казахстана по данным спутниковой съемки

Л.Ф. Спивак, М.Ж. Батырбаева, И.С. Витковская, Н.Р. Муратова, А.Ф. Исламгулова 116-145

Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений

Ж.В. Кузьмина, С.Е. Трешкин 146-188

CONTENTS

Volume 1, Number 3, 2017 September

MANAGEMENT OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Strategy of Water Resources Management in Agricultural Production at the Level of Catchment Basins

V.V. Melikhov 5-14

DYNAMICS OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Water and Ecology Problems of the Volga-Akhtuba Floodplain

M.V. Bolgov, K.Yu. Shatalova, O.V. Gorelits, I.V. Zemlyanov 15-37

ASSESSMENT OF ECOSYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

Deforestation is One of the Major Environmental Problems of the Baikal Lake Basin

P.D. Gunin, S.N. Bazha, B.Ts. Baldanov, T.G. Baskhaeva, Yu.I. Drobyshev, Ch. Dugarjav, S.V. Kontsov, V.L. Ubugunov, V.I. Ubugunova, S. Khadbaatar, E.G. Tsyrempilov 38-99

Assessment of the Ecological State of the Yakhroma River by Hydrochemical Indicators

N.V. Kuznetsova 100-115

Spatial-Temporal Peculiarities of Changes in the Steppe Vegetation State of Kazakhstan According to the Satellite Imagery

L.F. Spivak, M.Zh. Batyrbayeva, I.S. Vitkovskaya, N.R. Muratova, A.F. Islamgulova 116-145

Technique of an Valuation of Violations in Land Ecosystems and Landscapes owing to Climatic and Hydrological Changes

Zh.V. Kuzmina, S.E. Treshkin 146-188

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 3, с. 5-14

УПРАВЛЕНИЕ АГРОЭКОСИСТЕМАМИ И ИХ КОМПОНЕНТАМИ

УДК 631.6

ИЗМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В МЕЛИОРАТИВНОЙ ОТРАСЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

© 2017 г. В.В. Мелихов

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия
Россия, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9. E-mail: vniioz@yandex.ru

В статье рассмотрено состояние мелиоративной отрасли России за полувековой период после принятия масштабной программы «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких урожаев зерна и других сельскохозяйственных культур» (1966 год). Показано значение орошаемых земель, на которые приходится 40% мирового производства продовольствия и 60% производства зерна. Рассмотрены основные положения Концепции развития мелиорации сельскохозяйственных земель России, согласно которой в стране необходимо иметь не менее 10 млн. га орошаемых земель и не менее 8 млн. га осушаемых. С учетом природно-экологических интересов, перспектив развития сельских территорий предложено обеспечить корректировку и объединение двух Федеральных целевых программ (ФЦП): «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014-2017 годы и на период до 2020 года» и «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы». Проанализированы проблемы возрастающего дефицита пресных вод на фоне климатических изменений. Рассмотрены пути развития российской мелиоративной науки. Отражена необходимость обновить уже исследованные темы по режимам и технике орошения и осушения, конструированию мелиоративных гидротехнических сооружений, системам машин для комплексной механизации мелиоративных работ, освоению засоленных земель и т.д. Обоснована необходимость решения проблем на уровне бассейнов, рек, озер и водоносных горизонтов.

Ключевые слова: мелиорация, орошаемое земледелие, устойчивое развитие сельских территорий, прогноз научно-технического развития АПК.

Успехи развитых стран в устойчивом производстве продовольствия подкреплены большой долей участия в этом процессе мелиорируемых земель и, главным образом, орошаемых. На орошаемые земли приходится 40% мирового производства продовольствия и 60% производства зерна. Лидируют в этом направлении Индия, Китай, США, Пакистан и ряд других стран (Кружилин, 2011, 2013).

Велико значение мелиорации и для России, где 80% пашни подвержено засушливым явлениям, а около 20% – избыточному увлажнению.

В этом году Всероссийскому НИИ орошаемого земледелия исполняется 50 лет. Он был образован через год после принятия масштабной программы «О широком развитии мелиорации земель для получения высоких урожаев зерна и других сельскохозяйственных культур». Основные факторы интенсификации сельского хозяйства этого периода: механизация, химизация и широкомасштабная мелиорация – позволили поднять отрасль на качественно новый уровень. Вода пришла в засушливые территории на площадь 6.2 млн. га, а площадь осушенных земель увеличилась до 5 млн. га, и вместе эти 8% от всех пахотных земель позволили получать около 20% всей растениеводческой продукции (Дубенок, 2013, 2014; Ольгаренко, 2013; Щедрин и др., 2013). Следует отметить, что бурное развитие мелиорации обеспечивалось выросшими объемами и глубиной научных исследований. Был сформирован ряд научных школ: в Москве, Ленинграде, Новочеркасске, Волгограде и в других городах.

За постперестроечные годы мелиоративная отрасль пришла в упадок, были утрачены значительные площади орошения и осушенных земель. Созданная трудом советских мелиораторов техника стала остро нуждаться в сохранении, обновлении и развитии (рис. 1; Калабеков, 2010; Ольгаренко, 2013; Ольгаренко и др., 2015). На мелиорированных землях начали прогрессировать процессы деградации, увеличиваться площади переувлажненных, заболоченных, закисленных, засоленных и закустаренных угодий, территории эродированных земель и земель, подверженных опустыниванию. В целом по России из сельскохозяйственного оборота выведено более 30 млн. га пахотных земель (табл. 1; Калабеков, 2010).

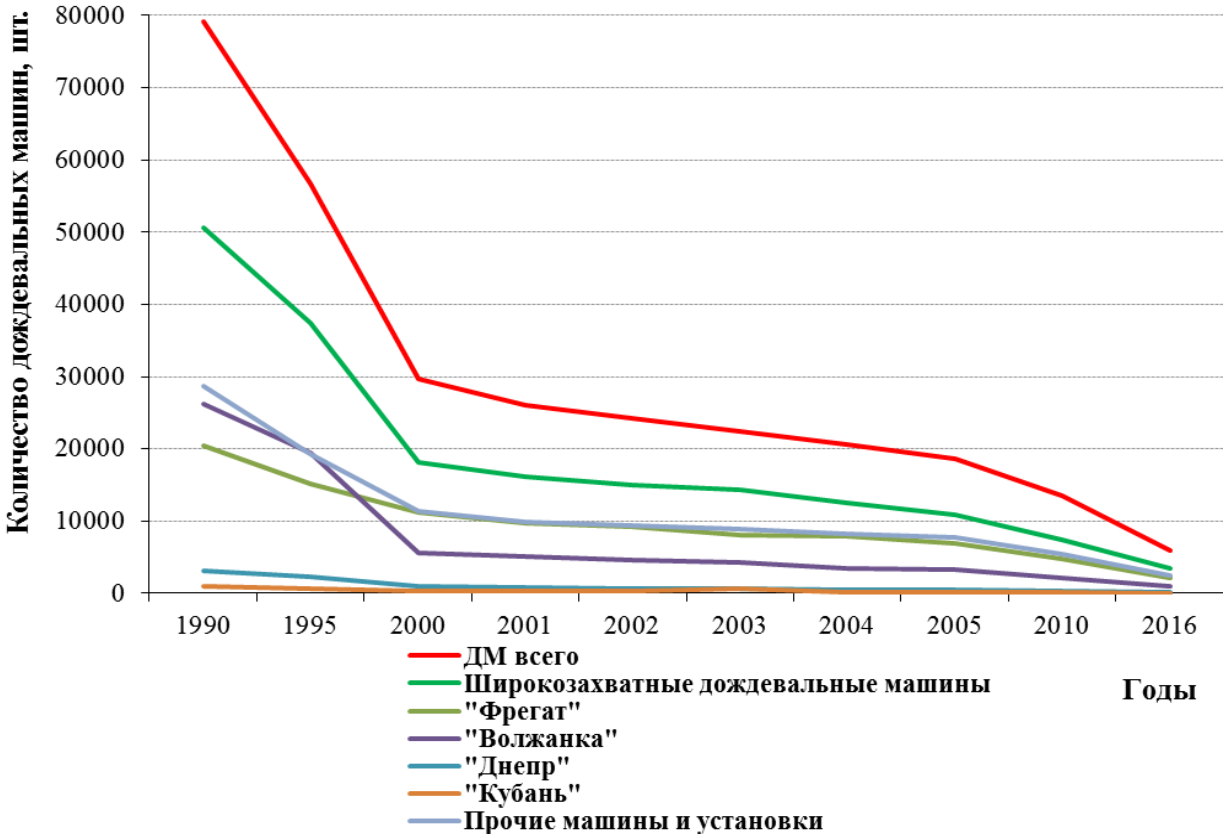


Рис. 1. Динамика парка дождевальной техники в России, 1990-2016 гг. (Калабеков, 2010; Ольгаренко, 2013; Ольгаренко и др., 2015). **Fig. 1.** Dynamics of the park of sprinkling equipment in Russia, 1990-2016 (Калабеков, 2010; Ольгаренко, 2013; Ольгаренко и др., 2015).

Объективно оценивая сложившуюся ситуацию, природные риски в земледелии, необходимость коренной модернизации мелиоративного комплекса, Правительство России в рамках новой Госпрограммы развития сельского хозяйства расширило формат механизмов и направлений государственной поддержки реконструкции и строительства новых мелиоративных систем. Согласно Федеральной целевой программе (ФЦП) «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы», поставлена задача прирастить стоимость национального мелиоративного комплекса на 185.1 млрд. рублей.

Несмотря на очень непростое положение в аграрном секторе, необходимо учитывать, что НИИ мелиоративного профиля в эти годы выполнили ряд разработок, гарантирующих научно обоснованное введение адаптивно-ландшафтных систем земледелия на

мелиорированных площадях, сохранение их экологической устойчивости, плодородия почв, а также их защиту от деградации и опустынивания. Были предложены комплексные решения в области проектирования мелиоративных систем, их реконструкции, районирования по способам орошения, водоотведения, совершенствования управления водным режимом, строительства дренажно-коллекторной сети, организации и технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Все это нашло отражение в Концепции развития мелиорации сельскохозяйственных земель России (2005).

Таблица 1. Динамика площади пашни и посевов в России, 1990-2016 гг. (Калабеков, 2010).
Table 1. Dynamics of arable land and crops in Russia, 1990-2016 (Калабеков, 2010).

Показатели	**Годы**							
	1990	**1995**	**2000**	**2005**	**2010**	**2016**	**2016 год в сравнении с 1990 годом**	
							млн. га	**%**
Площадь пашни, млн. га	131.8	127.6	119.7	116.1	115.3	115.5	-16.3	87.6
Площадь посевов, млн. га	117.6	102.5	85.4	77.5	75.2	76.3	-41.3	64.8
Удельный вес посевов в площади пашни, %	89.2	80.3	71.3	66.8	65.2	66.1	-23.1	74.1
Площадь зерновых культур, млн. га	63.0	54.7	45.6	43.4	43.2	44.4	-18.6	70.5
Удельный вес зерновых культур в площади посевов, %	53.6	53.4	53.4	56.0	57.4	58.2	+4.6	108.6

Важно отметить, что ранее научное обоснование развития орошения в различных регионах проводилось на основании водного и теплового балансов, повышения урожайности сельскохозяйственных культур и экономической эффективности. При этом проблема повышения устойчивости и достаточности производства сельскохозяйственной продукции, напрямую связанная с объемами развития комплексных мелиораций на базе орошения, не рассматривалась.

Поэтому необходимо было предложить уточненную структуру использования сельскохозяйственных угодий, подкрепленную законами и нормами, в которой оптимальным образом сочетались бы как рост объемов производства, так и повышение его устойчивости в каждом сельскохозяйственном предприятии.

Согласно Концепции комплексной мелиорации сельскохозяйственных земель (2005), разработанной российскими учеными, в нашей стране орошаемых земель надо иметь не менее 10 млн. га и не менее 8 млн. га осушаемых земель (табл. 2, 3; Кружилин, 2009, 2010).

Такую грандиозную задачу решить надо не далее как до 2025-2030 гг. И первый шаг для ее решения – это создать предпосылки для ежегодного ввода сотен тысяч гектаров мелиорированных земель. Поэтому по каждому ключевому направлению в области мелиорации важна объективная оценка его потенциала и четко сформулированный план действий на ближайшую перспективу.

Таблица 2. Площадь орошаемых земель, необходимая для обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства засушливых регионов России (Кружилин, 2009, 2010).
Table 2. Area of irrigated land needed to ensure sustainable development of agriculture in Russia's drylands (Кружилин, 2009, 2010).

Регионы	**Всего пригодных для орошения земель, млн. га**	**Обеспечено водными ресурсами поверхностного стока, млн. га**	**Необходимо для устойчивого развития ($0.2 > C_v > 0.1$)**	
			Всего, млн. га	**Обеспечено водными ресурсами, млн. га**
Российская Федерация	71.5	17.58	11.98	10.13
Северо-Кавказский	15.3	2.03	1.78	1.78
Поволжский	21.7	3.15	3.96	3.15
Уральский	12.1	1.56	1.92	1.56
Западно-Сибирский	8.4	5.32	2.24	2.24
Восточно-Сибирский	5.0	4.94	0.82	0.82
Центрально-Черноземный	6.8	0.58	1.26	0.58

Это позволит не только закрыть потребности населения страны в плодово-ягодной, овощной продукции, рисе и создать прочную кормовую базу, а значит, обеспечить россиян мясом и молоком собственного производства, но и сохранить экспортный потенциал зерновой продукции.

В первую очередь государство должно взять на себя выполнение мероприятий по приведению в порядок магистральных каналов, систем подачи воды, сохранить финансовую поддержку на приобретение оросительных установок и прокладку внутрихозяйственных сетей.

Минсельхоз России несет прямую ответственность за безопасную эксплуатацию мелиоративного комплекса Российской Федерации, предотвращение возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях, а также обеспечение водными ресурсами сельскохозяйственных земель и населенных пунктов, особенно в период маловодья, который, по данным отечественной науки, в бассейнах рек Волги и Дона продлится до 2029 года.

Сегодня российский АПК сохраняет статус одного из «локомотивов» экономики, который способствует позитивной динамике смежным отраслям. Собран рекордный урожай растениеводческой продукции, – положительные изменения наблюдаются и в производстве животноводческой продукции.

Государственная поддержка инициировала приток частных инвестиций в сельхозпроизводство, по итогам прошлого года вложения в сельское хозяйство оказались в числе лучших инвестиционных стратегий в нашей стране.

Вместе с тем, по прогнозу научно-технического развития АПК Российской Федерации на период до 2030 года, перед сельским хозяйством страны стоят глобальные и национальные вызовы, которые оказывают непосредственное влияние на отрасль. Их можно условно разделить на экономические и структурные, социальные, экологические и природно-ресурсные, политические и институциональные, ценностные, технологические.

Таблица 3. Площадь осушаемых земель, необходимая для обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства засушливых регионов России (Кружилин, 2009, 2010).
Table . Area of drained land needed to ensure sustainable development of agriculture in Russia's drylands (Кружилин, 2009, 2010).

Регионы	**Общая площадь осушаемых земель, млн. га**	**Вновь вводимые площади осушения, млн. га**	**Реконструкция осушительных систем, млн. га**	**Действующие осушительные системы, млн. га**
Российская Федерация	5000	230	1910	2860
Центральный	1350	105	630	815
Южный	70	–	27	43
Приволжский	435	20	123	292
Уральский	150	–	70	80
Сибирский	230	–	95	135
Дальневосточный	680	35	295	350
Северо-Западный	1885	70	670	1145

Одним из направлений ускоренного развития российского АПК может стать формирование научно обоснованной модели устойчивого развития сельских территорий с учетом экологических и природно-ресурсных проблем в условиях необходимости увеличения темпов роста урожайности и продуктивности в сельском хозяйстве.

В связи с этим отметим, что перспективы развития сельских территорий должны учитывать в первую очередь триаду устойчивости: учет экономических, социальных и природно-экологических интересов. Рассматривая проблему в этих аспектах, особо следует отметить, что эрозия, уплотнение и потеря плодородия почв, нехватка воды для орошения, истощение грунтовых вод либо переувлажнение подрывают устойчивое развитие сельских территорий.

Первое, что необходимо сделать даже в существующих объемах господдержки, это – обеспечить корректировку и объединение двух ФЦП: «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014-2017 годы и на период до 2020 года» и «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы». При таком подходе можно заложить основы снижения вариабельности урожайности продукции растениеводства и последовательно добиваться намеченных целей, а, главное – повысить качество жизни населения и уверенность в устойчивом развитии территории.

Очень важно при корректировке и объединении двух программ предусмотреть выделение мелиорированных земель в особый статус и создать условия для управления мелиоративным фондом страны как со стороны государства, так и на уровне региональных органов власти. Оправдано это будет тем, что государство в прошлом, настоящем и будущем несет и будет нести значительные расходы ради создания необходимого для устойчивого развития объема мелиоративного фонда земель, а также тем, что в сельскохозяйственном производстве всегда будут существовать риски, связанные с частыми засухами разной мощности, а где-то наводнениями, проблемами практической эксплуатации оросительных систем и гидротехнических сооружений. Так, анализируя события 2010 года, приведшие к

чрезвычайным ситуациям по засухе в 43 регионах России с недобором продукции растениеводства свыше 30%, или затопление ряда областей на Дальнем Востоке, можно сравнить такие явления с понятием «катастрофа». Управлять подобными процессами, как и самим мелиоративным фондом, целесообразно по принципам единоначалия, направленного на рациональное использование земли и воды с соблюдением требований экономической эффективности орошения и экологических ограничений. Все это необходимо отразить в законах и нормах, в том числе в законе «О мелиорации земель», принятие которого в новой редакции надо ускорить.

Другими словами, ставка на стабильное развитие мелиоративной отрасли в долгосрочной перспективе позволит обеспечить продовольственную и национальную безопасность.

Однако глобальные климатические изменения и существующие проблемы в мелиоративном комплексе, а также зависимость российского аграрного рынка от иностранных поставщиков семян и племенных животных создают риски для устойчивого увеличения объемов производства продуктов питания, в том числе и на мелиорированных землях.

В настоящее время с ростом населения и экономического развития человечество столкнулось с увеличивающимся дефицитом пресных водных ресурсов. Этот глобальный феномен отягощен к тому же процессами климатических изменений.

Современный период отличается еще и большим давлением, которое оказывают на водное и сельское хозяйство такие изменения, а также глобальные негативные тенденции и проблемы в экономике, экологии и демографии. Эти отрасли всегда остро сталкивались с перечисленными проблемами в прошлом и настоящем, но еще болезненнее будут сталкиваться с ними в будущем, находясь на пересечении проблемных узлов напряженности между необходимостью противостоять климатическим изменениям, недостатком финансовых ресурсов и обеспечением продовольственной и энергетической безопасности страны.

Для многих ученых и специалистов, а также простых водопользователей давно уже не секрет, что пресные водные ресурсы на Земле, несмотря на их свойство возобновляться в процессе природного круговорота воды, имеют ограниченную долю использования. В предстоящие годы нарастание дефицита водных ресурсов, пригодных для удовлетворения всех видов потребностей общества и природы, происходит повсеместно и будет увеличиваться, но в отдельных регионах мира этот процесс идет гораздо интенсивнее, а более высокая температура становится причиной сокращения стока, поэтому прогнозируется, что ряд важных для производства продовольствия территорий (Средиземноморье, юг Южной Америки, север Бразилии, запад и юг Африки) станет значительно суше.

На фоне роста численности населения и роста социально-экономических нужд это создает дополнительные проблемы при обеспечении общей водной безопасности, и, в частности, для продовольственной и экономической составляющей этой безопасности.

Климатические изменения с негативными последствиями уже сегодня ощутимы и на территории России. Например, по данным ФГБНУ ВНИИОЗ, установлено, что за последние 62 года в районе Волго-Донского междуречья значительно изменились агрометеорологические условия. Среднегодовая температура возросла на 0.4°С, увеличилась сумма положительных температур, и на 8-15 дней продлился вегетационный период, количество осадков за год хотя и возросло на 36 мм, но осадки стали иметь ливневый характер и из-за повышенной испаряемости и сухости в летний период стали менее доступны для агрофитоценоза.

Поэтому стратегия и тактика противодействия природным вызовам уже сегодня должна

быть вложена в планы ближайших лет. Естественно, эти новые, острые проблемы мелиоративного комплекса страны, которые наряду с происходящими изменениями, связанными с процессами реструктуризации сельского и водного хозяйства и адаптацией многоукладной экономики, ждут особого внимания и долгожданных решений, в том числе с участием научного сообщества.

Вопросы затрагивают все основные виды водопотребления, в том числе сельским охозяйством: забор и рассредоточенный сток. И здесь требуется глубокое обдумывание всего того, что происходит с климатом, ресурсами пресной воды в целях расширения перспектив вероятных прогнозов посредством разработки комплексных исследовательских программ. Общий подход должен быть организован на уровне, соответствующем бассейнам рек, озер и водоносных горизонтов.

Вопросов, стоящих перед научным сообществом, очень много. Как сохранить достигнутый уровень водообеспеченности территорий, подверженных засушливым явлениям, если в бассейнах рек Кубани и Терека, Урала, Волги и Дона понизится водность? Как увеличить емкость водохранилищ, водоемов, ериков и озер, и, в частности, Волго-Ахтубинской поймы? Как повысить КПД искусственных водохранилищ и оросительных каналов? Как снизить удельный расход воды на единицу продукции? Как мотивировать водопользователей на эффективное использование водных ресурсов и многое, многое другое. Сегодня для засушливых и безводных территорий России главное – не опоздать.

В связи с этим весьма важно мобилизовать новое и увеличить, сконцентрировать существующее финансирование, выделенное на адаптацию к изменению климата на территории речных бассейнов.

Необходимо усилить вовлечение в данную проблему научных и образовательных учреждений, бассейновых организаций, чтобы развивать сотрудничество, координацию, обмен информацией, диалог и консультации, способствовать созданию открытого банка знаний, предотвращению разногласий между заинтересованными сторонами, а также усилению мер по адаптации к изменению климата и совместному использованию благ на уровне бассейна.

Местные органы законодательной и исполнительной власти, экономические отрасли и гражданское общество должны стать частью такого сотрудничества и должны быть вовлечены в процесс управления бассейнами и в процесс определения и реализации мер по адаптации. Каждый потребитель должен получать воду по праву, закрепленному государственными нормативными документами, и вода должна иметь разумную цену.

Сегодня, когда меняется главный ресурс экономики и от сырьевой эпохи мы переходим к эпохе идей и безлюдных производственных технологий, ключевым фактором устойчивости производства становится новая роль науки.

В настоящее время мы вместе являемся либо участниками, либо свидетелями глубокого изменения парадигмы развития науки, главным содержанием которого становится переход от узкоспециализированной науки и отдельных технологий и отраслей к интегрированной междисциплинарной комплексной науке и экологическим технологиям.

Смысл последних состоит в восстановлении самосогласованного ресурсооборота, своеобразного обмена веществ природы, нарушенного сегодняшними технологиями, которые вырваны из естественного природного комплекса. Этот процесс может быть успешным только при соответствующей трансформации научно-образовательной среды и ее адаптации к новым задачам.

Из этого следует, что нужны новые прорывные направления по усилению сотрудничества науки и производства, внедрению научных разработок в АПК. Для этого необходимо кропотливо восстановить научно-техническую среду, создать новое поколение «учителей»-инноваторов на современной материально-технической базе, отвечающей

требованиям мировых стандартов, а они, «учителя», владеющие передовыми технологиями, должны в свою очередь воспитать новых учеников.

Получение прорывных знаний для решения перечисленных проблем нуждается в создании новой материально-технической базы для мелиоративного комплекса страны. Это необходимо прежде всего для решения взаимосвязанных и наукоемких задач при сопровождении мероприятий, обеспечивающих устойчивое развитие агропромышленного комплекса, сельских территорий максимально вне зависимости от влияния внешних факторов, ориентированных на:

– выполнение междисциплинарных и межотраслевых исследований полного цикла: от фундаментальных исследований до получения технологий и опытно-конструкторских разработок на уровне бассейнов рек, озер и водоносных горизонтов;

– прикладные исследования, разработку инновационных продуктов и технологий для реального сектора экономики в части повышения продуктивности мелиорированных и особенно орошаемых земель и адаптации к изменению климата в бассейнах;

– получение консолидированных знаний, и их широкую передачу обществу, в том числе через сетевые формы взаимодействия с образовательными организациями и другими исследовательскими коллективами, включая международные;

– создание новой и централизацию существующей научной инфраструктуры, в целях создания многофункционального научного центра коллективного пользования, в том числе для формирования кадрового потенциала сельскохозяйственного и водохозяйственного производств нового поколения и современной социальной инфраструктуры сельских территорий в бассейнах.

Формирование материально-технической базы Научного центра предлагается в виде Агротехнопарка с демонстрационными технологическими площадками, объединяющими всю цепочку от идеи до проведения научных исследований, от создания научной продукции до ее коммерциализации. Этот вопрос много раз обсуждался публично, но, к сожалению, ни региональная власть, ни федеральная не сработали катализатором последующих действий, а внезапная реформа и последующая реструктуризация институтов академической науки, видимо, надолго отложили проектные предложения ученых. Безусловно, все это тормозит процесс формирования компактной научно-технологической системы, способной сделать мелиоративную науку действительно «ядром» развития и позиционирования навстречу новым природным явлениям.

Концентрация интеллекта, денег, управленческих и технологических решений, способных противостоять рискам и снижать их, в формате государственно-частного партнерства позволит ускорить создание среды для новой волны развития мелиоративной науки и самой мелиорации.

Перед российским АПК стоит задача в среднесрочном прогнозе закрыть внутреннюю потребность в зерне, с учетом роста производства молока, мяса, и закрепить за страной статус одного из ведущих экспортеров на мировом рынке. Для этого необходимо поднять урожайность на 0.25-0.30 т/га и довести устойчивый валовой сбор до 120-125 млн. тонн.

При этом наиболее перспективным направлением достижения поставленных целей развития АПК, связанным с формированием новых высокотехнологичных рынков, наряду с другими могут стать климатоадаптивные производственные системы, в том числе ирригационные комплексы нового поколения.

Для российской мелиоративной науки, призванной научно сопровождать использование более 10 млн. га только орошаемых земель, при невероятно быстром развитии международной научно-технологической системы, изменения состоят в смещении акцента от управления научными организациями к управлению исследовательскими проектами, от жесткой постановки задач к «мягкому» управлению творческой активностью через систему

приоритетов. Это позволит ученым видеть способы самореализации и осуществлять их от собственных идей до участия в масштабных проектах, инициированных для ответа на глобальные вызовы.

Это может быть как долгосрочный прогноз, так и среднесрочный, потому что необходимо обновить многие, уже исследованные темы: по режимам и технике орошения и осушения, конструированию мелиоративных гидротехнических сооружений, системам машин для комплексной механизации мелиоративных работ, освоению засоленных земель, технике и технологии полива, технике поверхностного и лиманного орошения, развитию рисоводства, агролесомелиоративного обустройства и многое-многое другое. Но, главное, необходимо уже сейчас приступить к обдумыванию направлений на уровне бассейнов рек, озер и водоносных горизонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дубенок Н.Н. 2014. Приоритеты научного обеспечения развития мелиорации // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. № 1. С. 96-104.

Дубенок Н.Н. 2013. Мелиорация земель – основа успешного развития агропромышленного комплекса // Мелиорация и водное хозяйство. № 3. С. 7-9.

Калабеков И.Г. 2010. Российские реформы в цифрах и фактах. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: РУСАКИ. 498 с.

Концепция мелиораций сельскохозяйственных земель в России. 2005. / Под общ. ред. А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. Московский государственный университет природообустройства. М.: МГУП, 70 с.

Кружилин И.П. 2013. Мелиорация земель – необходимое условие высокого уровня развития сельскохозяйственного производства // Вестник российской сельскохозяйственной науки. № 1. С. 16-19.

Кружилин И.П. 2011. Комплексная мелиорация земель обеспечит устойчивое развитие сельского хозяйства Поволжья // Вестник российской сельскохозяйственной науки. № 1. С. 14-16.

Кружилин И.П. 2010. Научное обеспечение реализации программы развития мелиорации земель // Мелиорация и водное хозяйство. № 2. С. 10-13.

Кружилин И.П. 2009. О концепции целевой программы развития мелиорации земель с учетом выполнения требований доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 2. С. 51-57.

Ольгаренко Г.В., Ольгаренко Д.Г., Капустина Т.А. 2015. Ресурсосберегающие технологии и техника орошения // Техника и оборудование для села. № 8. С. 28-31.

Ольгаренко Г.В. 2013. Научно-техническое обеспечение программы развития мелиорации в России // Мелиорация и водное хозяйство. № 6. С. 2-4.

Щедрин В.Н., Сенчуков Г.А., Гостищев В.Д. 2013. О направлениях развития мелиорации и ее роли в обеспечении безопасности России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. № 4 (12). С. 1-14.

STRATEGY OF WATER RESOURCES MANAGEMENT IN AGRICULTURAL PRODUCTION AT THE LEVEL OF CATCHMENT BASINS

© 2017. V.V. Melikhov

All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture
Russia, 400002, Volgograd, Timiryazeva Str., 9. E-mail: vniioz@yandex.ru

The condition of the Russian land reclamation branch for the semicentennial period, after the large-scale program «On the Wide Development of Land Reclamation for Receiving High Crop Yield of Grain and Other Agriculture» was accepted, is considered in the article. The value of the irrigated lands, which account for 40% of global food production and 60% of grain production, is shown. We also considered the main provisions of the Concept of the development of the Russian farmlands' land reclamation, according to which there should be 10 million hectares of irrigated lands and 8 million hectares of drained lands in the country, no less. Considering the natural and ecological interests, as well as the perspectives of the rural areas development, we suggest providing adjustment and combination of the two Federal State Programs: «Sustainable development of rural territories for 2014-2017 and for the period till 2020» and «Development of reclamation of the lands of agricultural purpose in Russia for 2014-2020». We analyzed the problems of fresh waters' increasing deficiency during the climatic changes and considered the ways of the Russian land reclamation science development. We state the necessity of updating the subjects, which have been already studied, such as the subjects on the modes and technology of irrigation and drainage, designing of the land reclamation hydraulic constructions, and also the systems of machines for complex mechanization of land reclamation works, salted soils development etc. We proved the need of the problems solution on the level of pools, rivers, lakes and water-bearing horizons.
Keywords: land reclamation, irrigated agriculture, sustainable development of rural territories, the forecast of scientific and technical development of agrarian and industrial complex.

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 3, с. 15-37

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 502.52:556.1

ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ[1]

© 2017 г. М.В. Болгов*, К.Ю. Шаталова*, О.В. Горелиц, И.В. Землянов****

**Институт водных проблем РАН*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: k.shat@mail.ru, bolgovmv@mail.ru
***Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова*
Россия, 119034, г. Москва, Кропоткинский пер., д. 6

В статье рассматриваются гидрологические факторы изменения состояния водных экосистем Нижней Волги. Дается общая характеристика проблем изучаемого региона. На основе данных гидрометеорологического мониторинга получены количественные характеристики изменений гидрологического режима водотоков Нижней Волги. Выявлено, что изменения характеристик стока весьма существенны и могут рассматриваться в качестве основной причины деградации водных экосистем изучаемого региона. Для улучшения состояния водных объектов Волго-Ахтубинской поймы рекомендована схема дополнительной подачи воды непосредственно в Ахтубу с помощью специального водовода. Эффективность предложенного подхода исследована методом гидродинамического моделирования.
Ключевые слова: Волго-Ахтубинская пойма, гидрологический режим, речной сток, природные экосистемы, природопользование, водообмен, обводнение.

Волго-Ахтубинская пойма (ВАП), составная часть Нижней Волги, представляет собой уникальный природный объект, особенности функционирования экосистемы которого определяются сезонными и многолетними изменениями гидрологического режима р. Волги, происходящими под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Создание Волжско-Камского каскада (ВКК) позволило решить ряд водохозяйственных задач Центральной России, но на Нижней Волге привело к возникновению целого ряда новых проблем.

1. Основная проблема – недостаточное обводнение Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.

Создание водохранилищ на Волге коренным образом повлияло на экологию Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги. Необходимая для рыбного и сельского хозяйства продолжительность затопления поймы сократилась в 2 раза и обеспечивается только в 35% лет. В маловодные годы складываются особенно неблагоприятные условия для рыбного хозяйства.

Регулирование стока Волги привело к необходимости специальных попусков через Волгоградский гидроузел, но для гарантированного поддержания приемлемых условий нужно корректировать Правила использования водных ресурсов водохранилищ Волжско-Камского каскада в сторону увеличения приоритета условий сохранения водной среды.

2. Проблема водного транспорта.

[1] Представленные в статье результаты получены в рамках проекта «Научное обоснование мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов и устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса Нижней Волги, сохранение уникальной системы Волго-Ахтубинской поймы», выполнявшегося рядом научно-исследовательских организаций в рамках Государственного контракта от 13 сентября 2013 года №10-ГК/ФЦП-2013 при реализации федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах».

Сегодня на Нижней Волге растет грузооборот, но одновременно наблюдается снижение уровней в районе гидроузла за счет размыва. Для полного обеспечения судоходных глубин в настоящее время требуются расходы воды не менее 5000 $м^3/с$, а их обеспечение связано с повышенной нагрузкой на водохранилища Волжско-Камского каскада.

Необходимо более рациональное вододеление во всей водохозяйственной системе Волги и строительство обязательных гидротехнических сооружений.

3. Проблема пропуска высокого половодья и опасных русловых процессов.

Во время высоких половодий создается угроза затоплений, подтоплений, прорыва дамб и в целом возникновения чрезвычайных ситуаций с неопределенными последствиями, в особенности в пределах дельты Волги.

Большая часть берегов Нижней Волги, включая застроенную территорию Астрахани, подвержена опасности размыва и обрушения береговых склонов. Часто приходится в аварийном порядке выполнять дорогостоящие берегоукрепительные работы в больших объёмах. Необходимы превентивные мероприятия, обеспечивающие безопасность селитебных территорий

4. Водохозяйственные проблемы Западных Подстепных ильменей.

С регулированием стока Волги связано ухудшение условий обводнения Западных Подстепных ильменей, примыкающих с запада к дельте Волги, и существенная деградация их состояния. Ильмени усыхают и давно потеряли рыбопромысловое значение, поскольку направляемые на их поддержание финансовые ресурсы сильно ограничены. Перспективным представляется рыбохозяйственный вариант использования ильменей в той их части, которая для этого наиболее пригодна.

5. Проблема водоснабжения и орошения в сельском хозяйстве.

В периоды маловодья наблюдается дефицит воды для питьевого и технического водоснабжения, а также орошения по причине снижения уровней и занесения наносами подводных каналов, особенно в «верховых» районах Волги и Ахтубы. Необходима реконструкция существующих насосных станций и трактов водоподачи.

Изменения гидрологического режима Нижней Волги

Сложность и специфика водно-экологических проблем ВАП и Нижней Волги в целом обусловлена как природными условиями региона, так и несоответствием запросов отраслей экономики природоохранным требованиям при многоцелевом использовании водных объектов.

К природным факторам, влияющим на состояние экосистемы ВАП, можно отнести колебания климата и его направленные изменения на Европейской территории России, динамику режима речного стока на всей территории Волжского бассейна, саморазвитие (эволюцию) ландшафтов, гидрографической сети, биокомплексов и прочее.

Антропогенные факторы подразделяются на глобальные, воздействующие на регион в целом, такие как регулирование режима стока Волги каскадом водохранилищ, и локальные, воздействующие на отдельные участки территории и связанные с разными видами человеческой деятельности: рыболовецким промыслом, земледелием (в т.ч. орошаемым), сенокошением, сбором лекарственных и декоративных растений, выпасом скота, рекреацией, урбанизацией, транспортом, а также со стихийными явлениями в виде пожаров, спровоцированных человеком.

После зарегулирования стока реки Волги с 1961 года изменились характеристики гидрологического режима, влияющие на состояние экосистем на всей территории ВАП. Для оценки изменений рассмотрены данные многолетних гидрологических наблюдений на гидрологическом посту – г/п р. Волга–г. Волгоград, характеризующие гидрологический

режим в вершине Волго-Ахтубинской поймы.

Средние годовые объемы стока Волги в створе у г. Волгограда за период естественного (1881-1956 гг.) и зарегулированного (после 1961 г.) режима стока близки и составляют 255 км^3 и 248 км^3 соответственно, средний за 130-летний период инструментальных наблюдений среднегодовой объем стока составляет 253 км^3 (рис. 1).

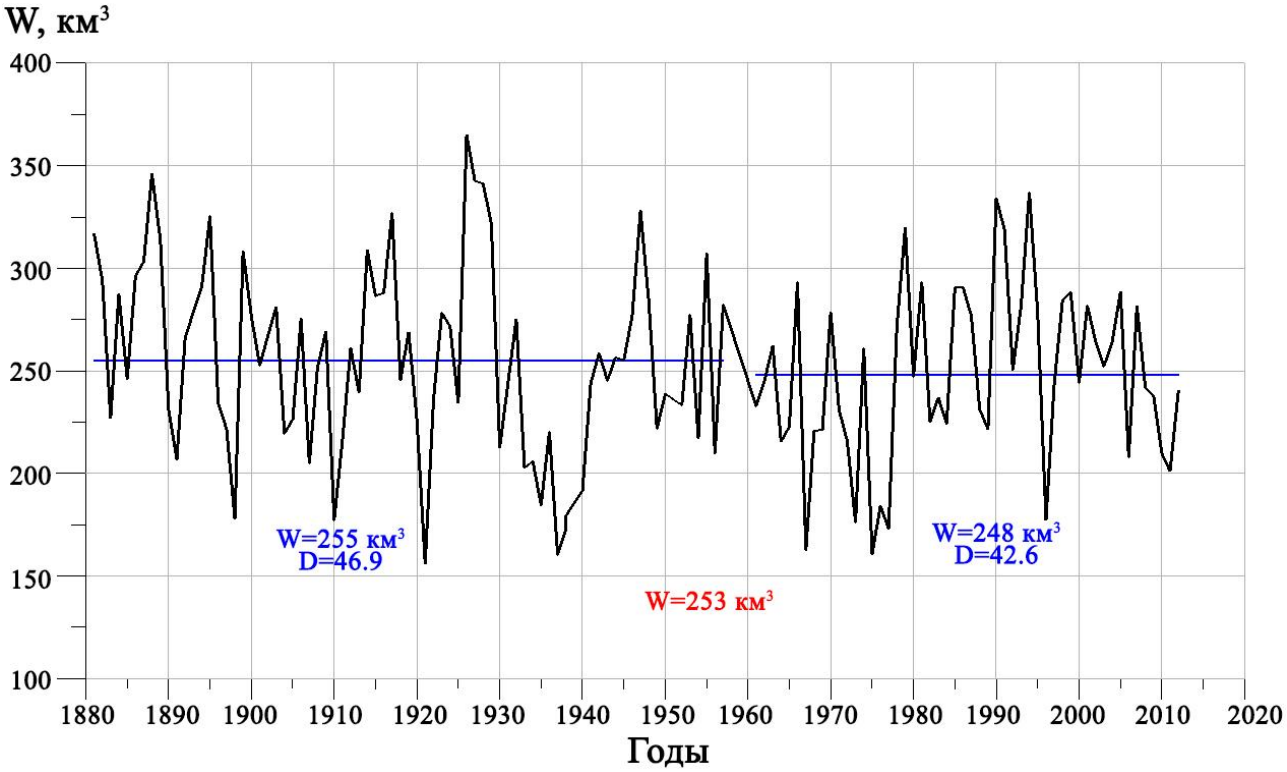


Рис. 1. Многолетняя изменчивость величин годового стока воды р. Волги в створе г. Волгограда за 1881-2012 гг. **Fig. 1.** Perennial changes of the values of the River Volga annual flow in the line of Volgograd during 1881-2012.

Таблица 1. Многолетние характеристики годовых объемов стока воды р. Волги в створе г. Волгограда в естественных (1881-1957 гг.) и зарегулированных (1961-2012 гг.) условиях. **Table 1.** Perennial features of the River Volga annual flow quantity in the natural (1881-1957) and overregulated (1961-2012) conditions.

Годы	**Средний объем стока за период**	**Стандартное отклонение σ**	**Максимальный годовой объем стока**		**Минимальный годовой объем стока**	
	W, км^3		**W, км^3**	**год**	**W, км^3**	**год**
1881-1957	255	46.9	389	1926	161	1937
1961-2012	248	42.6	337	1994	169	1975

В целом при близких среднемноголетних значениях годовой сток Нижней Волги в период зарегулированного стока характеризуется несколько меньшей амплитудой межгодовых колебаний и меньшей величиной стандартного отклонения σ (табл. 1, 2).

Разница между максимальными и минимальными значениями годового стока в этот период составляет 168 км^3, тогда как в естественных условиях она достигала 228 км^3. Однако в зарегулированных условиях существенно изменилось внутригодовое распределение стока реки Волги в створе г. Волгограда (рис. 2; Горелиц и др., 2010).

Таблица 2. Многолетние характеристики среднегодовых расходов воды р. Волги в створе г. Волгограда в естественных (1881-1957 гг.) и зарегулированных (1961-2012 гг.) условиях. **Table 2.** Perennial features of the River Volga annual average water discharge in the line of Volgograd in the natural (1881-1957) and overregulated (1961-2012) conditions.

Годы	Средний расход за период	Стандартное отклонение σ	Максимальный среднегодовой расход		Минимальный среднегодовой расход	
	Q, м^3/с		Q, м^3/с	год	Q, м^3/с	год
1881-1957	8167	1587	12355	1926	5090	1937
1961-2012	8032	1340	10685	1994	5350	1975

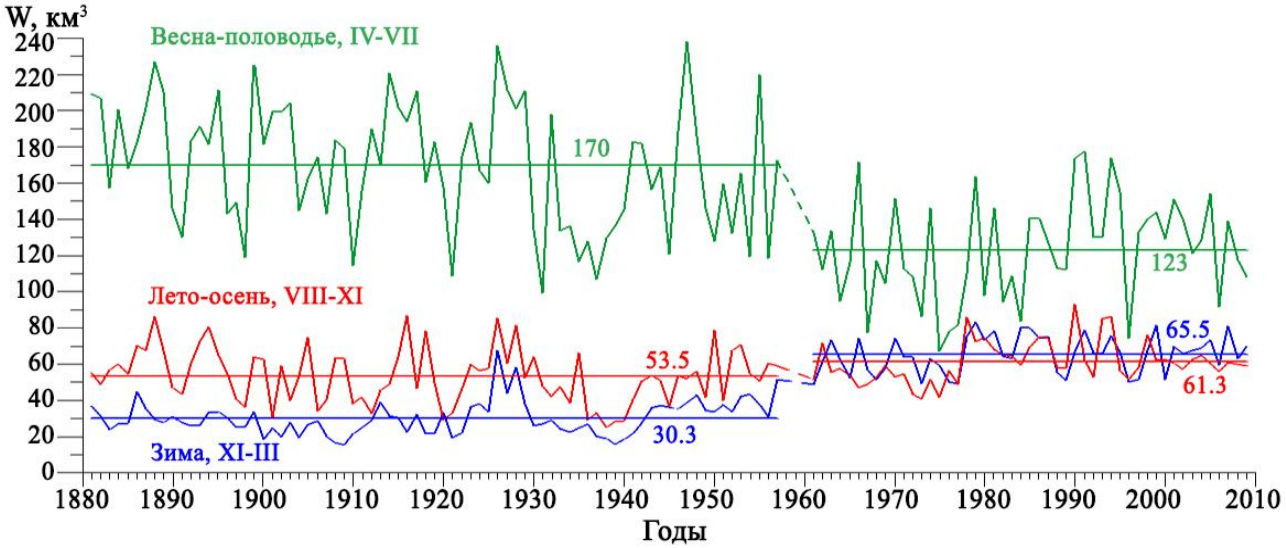


Рис. 2. Внутригодовое распределение стока р. Волги в створе г. Волгограда по сезонам. **Fig. 2.** Annual distribution of the River Volga flow in the line of Volgograd by seasons.

Определяющую роль в жизнеобеспечении уникальной экосистемы Нижней Волги, включая Волго-Ахтубинскую пойму, играет половодье (Горяйнов и др., 2004; Горелиц, Землянов, 2005). В условиях естественного режима стока период половодья охватывал 4 месяца с апреля по июль, затоплению подвергались обширные территории, на полях проходил нерест и нагул рыбы, гнездование птиц, развитие пойменной растительности и происходило обводнение сельскохозяйственных угодий. В зарегулированных условиях ситуация изменилась.

В период половодья основными параметрами гидрологического режима, определяющими условия жизнедеятельности экосистемы ВАП, являются продолжительность половодья, даты наступления его фаз, интенсивность изменения уровня воды на подъеме и

спаде половодья, высота уровней и значения расходов воды на пике половодья, температуры воды и интенсивность их изменения в период половодья (Горелиц и др., 2010).

По данным многолетних гидрологических наблюдений на гидрологическом посту – г/п р. Волга–г. Волгоград, продолжительность половодья в вершине ВАП сократилась с 95 дней в период естественного режима до 64 дней в зарегулированных условиях (табл. 3), причем основное сокращение произошло на фазе подъема половодья (рис. 3) – его продолжительность уменьшилась на 19 дней (практически в 2 раза).

Таблица 3. Основные параметры гидрологического режима в вершине Волго-Ахтубинской поймы в створе г. Волгограда в естественных и зарегулированных условиях. **Table 3.** The main parameters of the hydrological regime in the highest part of the Volga-Akhtuba floodplain in the line of Volgograd, in the natural and overregulated conditions.

Характеристики	**Параметры**	**Естественный режим**	**Зарегулированный режим**
Продолжительность половодья и его фаз	Половодье	95	64
	Подъем	41	22
	Спад	54	42
Даты наступления характерных фаз половодья	Начало	19.IV	18.IV
	Пик	29.V	11.V
	Окончание	23.VII	22.VI
Характерные отметки уровня воды в половодье	Начало	-9.46	-10.11
	Пик	-3.1	-3.65
	Окончание	-9.46	-10.37
Характерные расходы воды в половодье	Начало	6205	6162
	Пик	28910	26543
	Окончание	5548	5648
Интенсивность изменения уровня	Подъем	15.24	32.95
	Спад	11.76	18.64
Амплитуда изменения уровня	Подъем	614.6	645.9
	Спад	611.3	671.7
Характерные температуры воды в половодье	Начало	2.66	3.44
	Пик	14.76	8.59
	Окончание	22.54	18.39
Амплитуда изменения температуры воды	Половодье	19.87	14.94
	Подъем	12.10	5.15
	Спад	7.77	9.80
Сумма температур воды в половодье	Половодье	1417	711
	Подъем	344	138
	Спад	1074	569

Примечания к таблице 3: цветом выделены наиболее существенные изменения.
Notes to the table 3: the most significant changes are marked with color.

Продолжительность фазы спада половодья уменьшилась в среднем на 12 дней. Причем дата начала половодья в зарегулированных условиях (18.IV) практически не изменилась по сравнению с естественными условиями (19.IV), а пик половодья в зарегулированных условиях в среднем наблюдается 11.V, что на 20 дней раньше, чем в естественных условиях. Анализ показал, что максимальные изменения произошли на фазе подъема. Именно значительное изменение одного из важнейших параметров половодья – продолжительности фазы подъема – повлекло за собой существенные изменения всех рассматриваемых параметров, в том числе интенсивности роста уровня и температуры воды в период половодья, которые во многом определяют состояние экосистем Нижней Волги (Горелиц и др., 2010; Горелиц, Землянов, 2015).

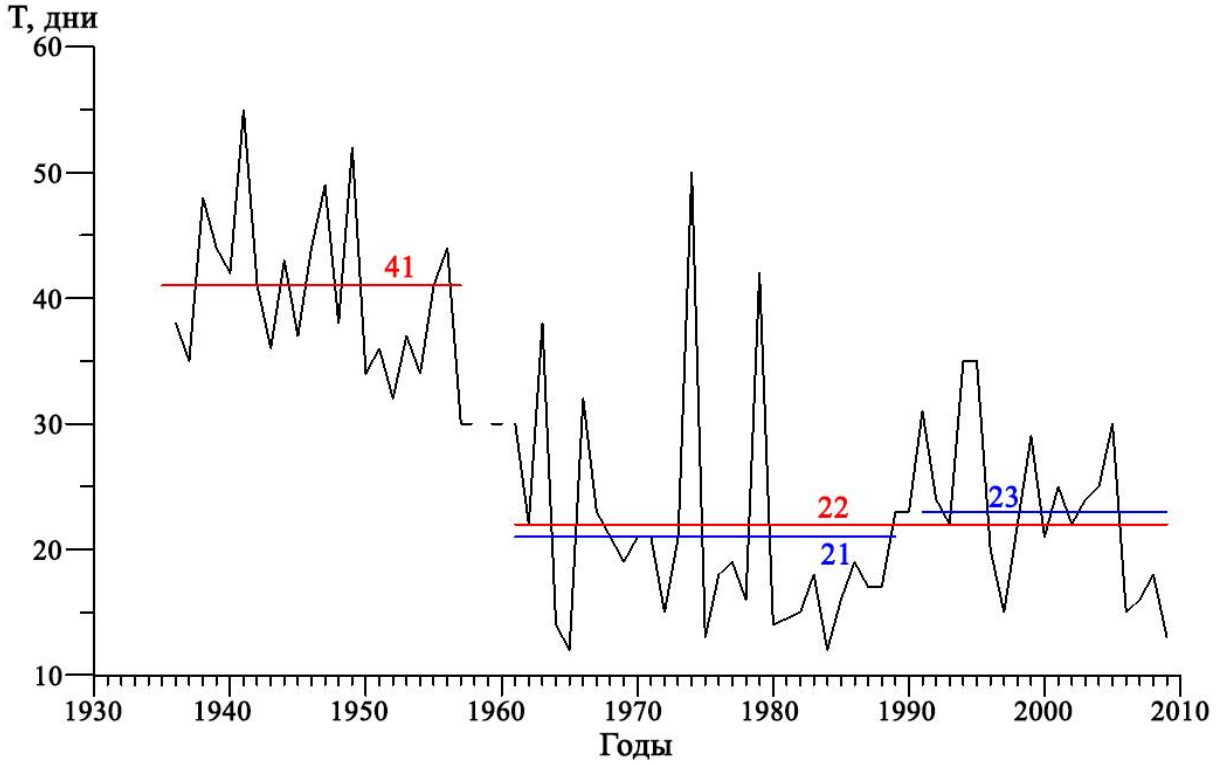


Рис. 3. Продолжительность фазы подъема половодья на Нижней Волге в створе г. Волгограда и средние значения по периодам за 1936-2009 гг. **Fig. 3.** Duration of the extension phase of the high water in the Lower Volga in the line of Volgograd and the average values during 1936-2009.

Характерные отметки уровня воды в период половодья, по данным г/п р. Волга–г. Волгоград, после зарегулирования стока снизились в среднем на 0.65 м по сравнению с периодом естественного режима (Горелиц и др., 2011). Это снижение во многом обусловлено интенсивным размывом русла в нижнем бьефе Волжской ГЭС (Мажбиц, Буланов, 2008; Нижняя Волга …, 2002). Совмещенные кривые связи уровней по г/п р. Волга–г. Волгоград и расходов воды (сбросов) в нижний бьеф Волжской ГЭС в период зарегулированного режима за 1961, 2010, 2011 и 2012 гг. (рис. 4) показывают, что в последние годы снижение уровней при фиксированных расходах воды проявляется по всей амплитуде колебаний расходов. В меженных условиях при соответственных расходах воды Q=6000 м^3/с снижение уровня воды к 2012 году достигло 1.5 м по сравнению с 1960-ми годами (Горелиц, Землянов, 2013). Для компенсации и поддержания в районе г. Волгограда воды в нижнем бьефе ГЭС меженных

уровней, обеспечивающих нужды транспортной, коммунальной и других отраслей хозяйства, в последние 20 лет расходы воды в предполоводный период повышены в среднем на 30-35% по сравнению с периодом 1961-1980 гг.

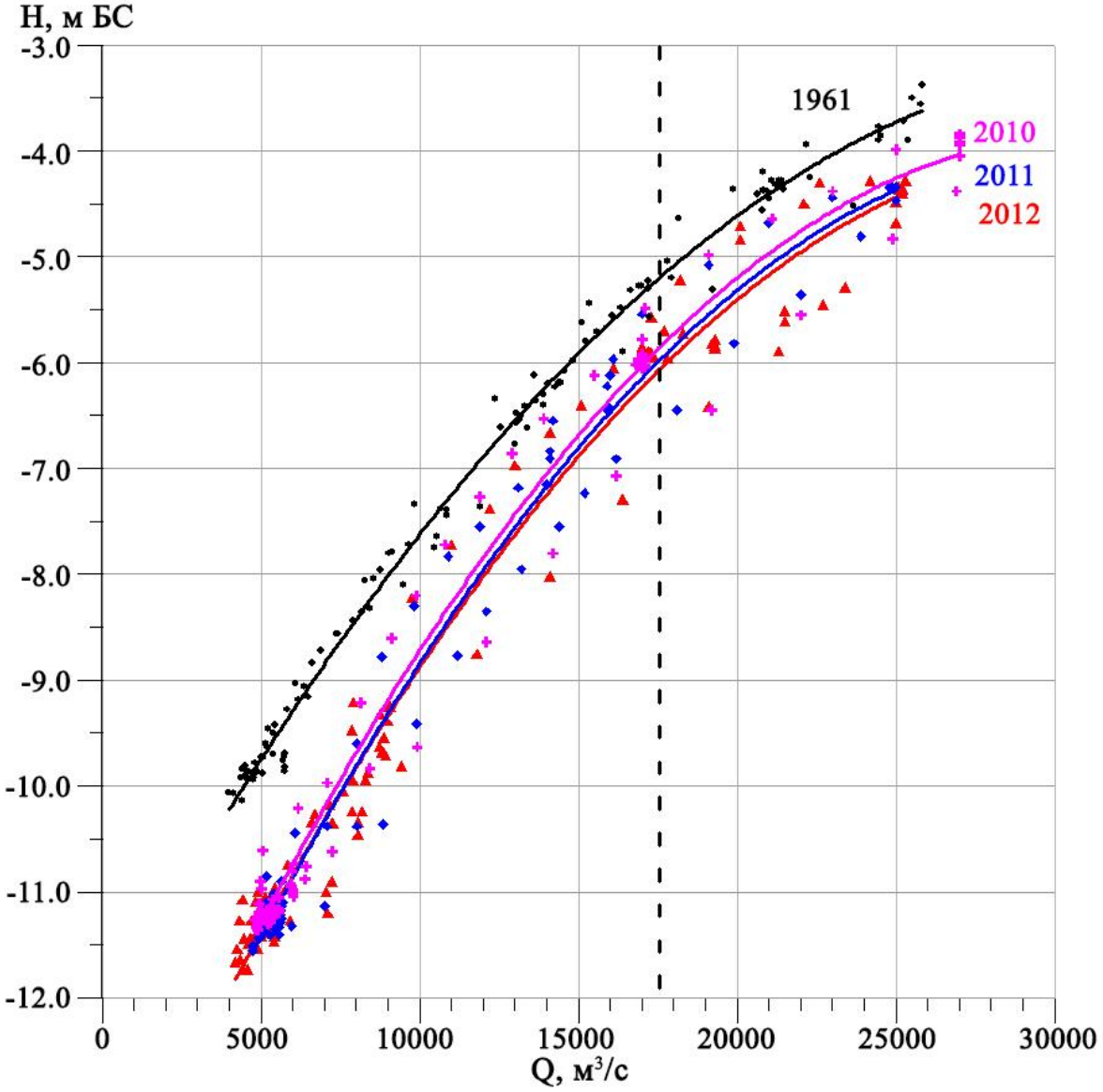


Рис. 4. Кривые связи отметок уровня воды по данным г/п г. Волгоград (H, м БС) и сбросов в нижний бьеф Волжской ГЭС (Q, м^3/с) в 1961, 2010, 2011 и 2012 гг. **Fig. 4.** Curves of the connection between the watermarks, according to the Volgograd hydrological station data (H, m BS), and the waste water in the tail water of the Volga Hydroelectric Station (Q, m^3/s) in 1961, 2010, 2011 and 2012.

На пике половодья при расходах, равных 25000-27000 м^3/с, уровни по г/п р. Волга–г. Волгоград снизились на 0.3-0.4 м по сравнению с началом периода зарегулированного стока. Это приводит к уменьшению поступления воды в русло Ахтубы и в истоки основных водных трактов Волго-Ахтубинской поймы на пике половодья и, как следствие, к устойчивому снижению обводнения территорий поймы в пределах Волгоградской области. Отметки уровня и расходы воды на пике половодья и в конце половодья снизились в

зарегулированных условиях на 10-13% по сравнению с естественными условиями (Горелиц и др., 2011, 2014).

Существенно изменилась интенсивность роста уровня воды в вершине ВАП на фазе подъема половодья (Горелиц, 1994; Горелиц и др., 2010). За счет раннего наступления пика половодья, сокращения продолжительности фазы подъема и увеличения амплитуды роста уровня воды в зарегулированных условиях значение этой характеристики, по данным г/п р. Волга–г. Волгоград, выросло более чем в 2 раза – с 15.34 см/сутки до 32.95 см/сутки (табл. 3). А именно этот элемент гидрологического режима определяет условия прогрева и равномерного поступления воды в мелкую русловую сеть и водоемы Волго-Ахтубинской поймы. Для развития биоценозов Нижней Волги важнейшим параметром гидрологического режима является температура воды в период половодья. Сумма температур за период половодья в зарегулированный период существенно уменьшилась (рис. 5). В естественных условиях среднее многолетнее значение температуры на пике половодья, по данным г/п г. Волгоград, составляло +14.76°С, амплитуда роста температуры воды на подъеме половодья в вершине ВАП – 12.10°С. В зарегулированных условиях температура на пике половодья поднимается в среднем до +8.59°С, а амплитуда роста температуры составляет всего 5.15°С, сумма температур на подъеме половодья, по данным г/п г. Волгоград, снизилась с 344 до 138 градусов (Землянов и др., 2010).

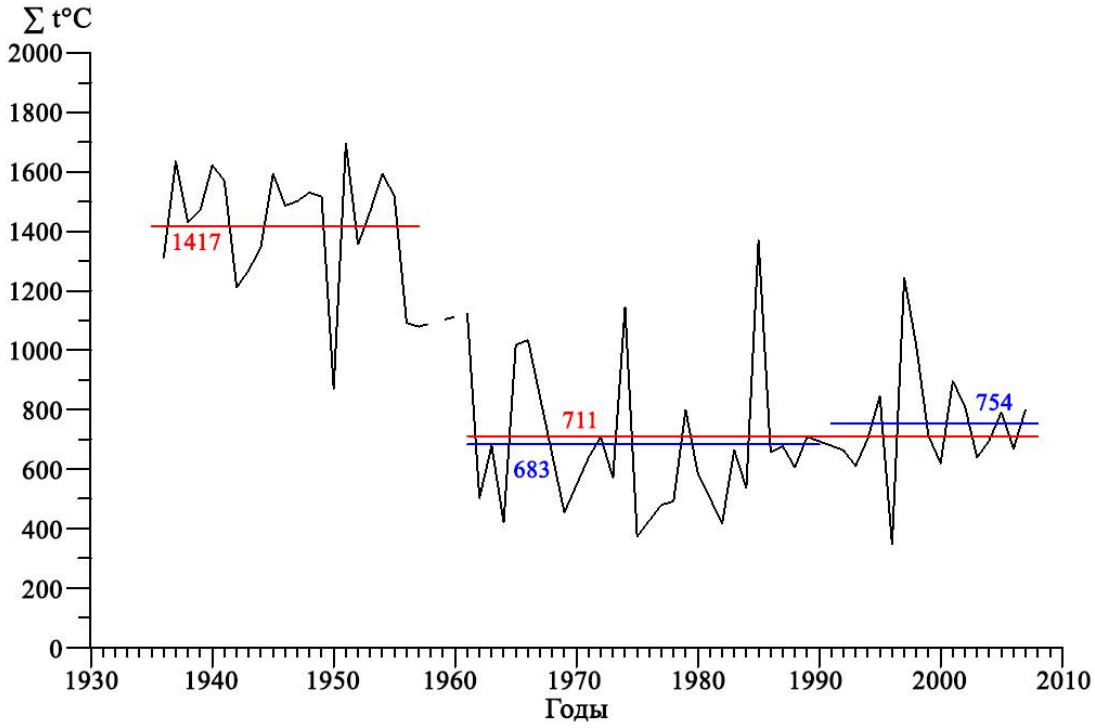


Рис. 5. Сумма температур воды за период половодья по г/п г. Волгоград и средние значения по периодам за 1936-2008 гг. **Fig. 5.** Sum of the water temperatures during the high water, according to the Volgograd hydrological station data, and the average values during 1936-2008.

Кроме показателя интенсивности роста уровня воды, имеющего огромное значение для биоценозов Нижней Волги, также существенна и межгодовая изменчивость параметров гидрологического режима на пике половодья (рис. 6, 7). В естественных условиях объем стока II квартала (апрель-июнь), максимальные расходы воды, высота уровня на пике половодья и продолжительность заливания пойменных территорий менялись от года к году в

широких пределах, обеспечивая условия для существования разнообразных растительных сообществ. В зарегулированных условиях максимальные значения уровней и расходов воды, а также продолжительность пика половодья искусственно приближены к общему среднему значению, и лишь в годы с экстремально низким или экстремально высоким стоком наблюдаются значимые отклонения. Дисперсия значений уровня воды (D_H) на пике половодья в вершине ВАП (г/п г. Волгоград) уменьшилась в три раза – с 1.01 в естественных условиях до 0.36 в зарегулированных. Аналогичные изменения зафиксированы для значений максимальных расходов воды на пике половодья, дисперсия этих величин (D_Q) снизилась с 74.5 в естественных условиях до 42.6 в зарегулированных (Землянов и др., 2010; Горелиц, Землянов, 2013, 2015).

Такие изменения гидрологического режима могут привести в ближайшем будущем к деградации тех растительных сообществ, для существования которых необходимо чередование многоводных и маловодных лет.

Рис. 6. Многолетняя изменчивость стока II квартала (апрель-июнь) в вершине Нижней Волги (в створе г. Волгограда) за 1881-2016 гг. **Fig. 6.** Perennial changes of the second quarter (April-June) flow in the highest part of the Lower Volga, in the line of Volgograd, during 1881-2016.

В естественных условиях средняя продолжительность обводнения верхней части ВАП в период половодья составляла 37 суток, после зарегулирования она снизилась до 23 суток. В благоприятных для обводнения поймы условиях повышенной водности Волги (период 1978-2005 гг.), продолжительность затопления поймы несколько увеличилась за счет длительного периода высоких расходов воды (сбросов) в нижний бьеф Волжской ГЭС. Но посадка уровней воды в русле Волги, по данным г/п г. Волгоград, и заиление входов в основные ерики и рукава, отводящие сток из основного русла на пойму, в последние десятилетия препятствует восстановлению естественной весенней обводненности ВАП (Горелиц и др., 2011; Горелиц, Землянов, 2015).

Несмотря на определяющую роль режима регулирования Волжско-Камского каскада,

существенное значение во внутригодовых изменениях стока имеет и значительное увеличение зимнего притока к водохранилищам ВКК, вызванное тенденциями климатических изменений на Европейской территории России в целом и в бассейне Волги в частности. Наблюдается общее потепление, заметное увеличение стока зимней межени и уменьшение стока весеннего половодья (Водные ресурсы России …, 2008).

Рис. 7. Многолетняя изменчивость максимальных расходов (а) и уровней воды (б) в вершине Нижней Волги (в створе г. Волгограда) за 1881-2016 гг. **Fig. 7.** Perennial changes of the max water discharge (a) and water level (б) in the highest part of the Lower Volga, in the line of Volgograd, during 1881-2016.

В работе М.В. Болгова с соавторами (2014б) исследовались 122 реки Волжского бассейна с площадью водосбора от 1000 до 25000 км². Такие реки, как правило, дренируют основные водоносные горизонты, свойства колебаний стока отражают физико-географическую зональность, и динамика их стока определяется, прежде всего, климатическими факторами. Авторы делают вывод о том, что характер колебаний минимального стока в условиях климатических изменений может рассматриваться как смена условно-однородных режимов, а распределение даты перехода по территории подчиняется зональным закономерностям в увязке с особенностями гидрогеологического режима бассейнов (рис. 8). Нарушения временной однородности минимальной водности рек климатически обусловлены, а ведущим климатическим фактором изменений является рост зимних температур (рис. 9, 10).

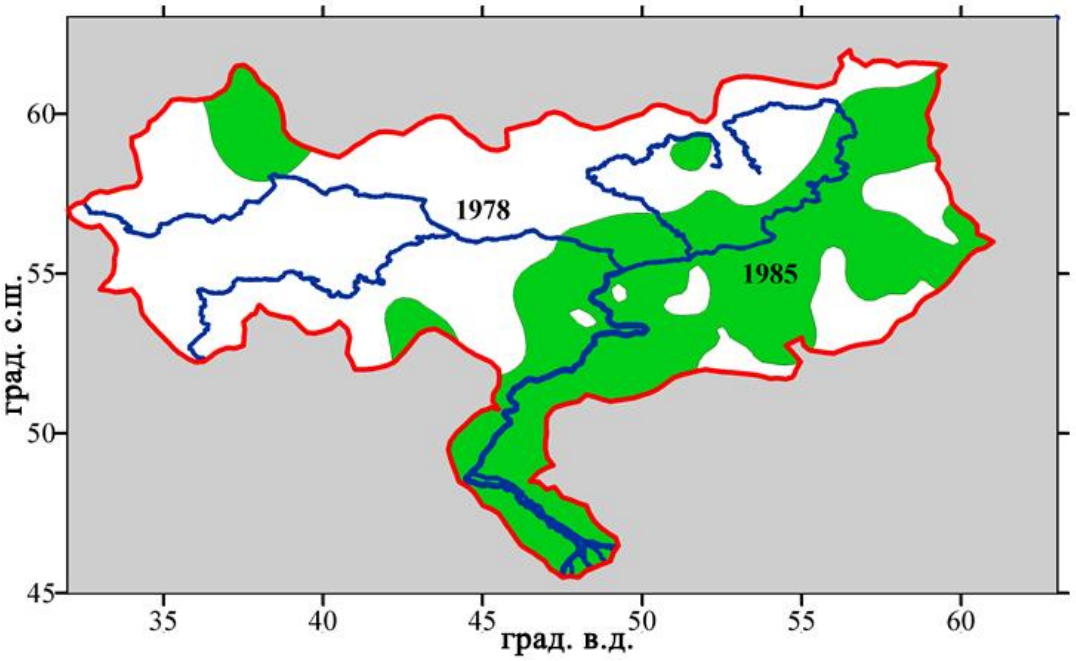


Рис. 8. Распределение по территории бассейна р. Волги даты нарушения стационарности в рядах минимального стока. Условные обозначения: белый фон – 1978 г., зеленый фон – 1985 г. **Fig. 8.** Distribution of the stationarity violations of the minimal flow in the Volga Basin area. Notes: white – 1978, green – 1985.

Количественно и качественно изменились основные параметры ледового режима. Сократилась продолжительность ледовых явлений, наблюдается существенная неустойчивость ледостава, в 30% лет в зарегулированных условиях в русле Волги в районе Волгограда ледостав не наблюдался. Изменения показателей ледового режима Волго-Ахтубинской поймы в многолетнем разрезе определяются как климатическими изменениями, так и условиями регулирования стока.

Произошедшие изменения гидрологического режима бассейна весьма значительны и во многом обуславливают изменения в условиях развития биоценозов Нижней Волги.

Изменение экосистемы поймы в условиях регулирования стока

Изменение климатических условий и зарегулирование стока Волги привело к истощению и обмелению водных объектов Волго-Ахтубинской поймы, сокращению периода

ее затопляемости и обусловило изменение водного, солевого, воздушного режима почв и микроклимата. На участках ВАП, лишенных увлажнения в половодье, происходят процессы остепнения, а в местах близкого залегания уровня грунтовых вод – засоления ранее плодородных почв, что негативным образом отразилось на состоянии дубрав и лесов из других лесообразующих пород (Кузьмина и др., 2015). Низкий окислительно-восстановительный потенциал почв является причиной гибели насаждений в пойме низкого уровня и препятствием для искусственного лесовосстановления. За 35-летний период исследований экосистемы Волго-Ахтубинской поймы класс бонитета лесов уменьшился на 0.6, полнота – на 0.08, а средний прирост – в 1.5 раза. Бонитет дубрав Волго-Ахтубинской поймы снизился значительнее – с 1.5 до 2.9 класса. За 35 лет площадь ветляников сократилось в 3.1, а тальников – в 2.5 раза. В случае дополнительного обводнения поймы при восстановлении сети озер и ериков (водотоков) следует ожидать медленного восстановления лесной растительности. Период восстановления лесов – 15-40 лет.

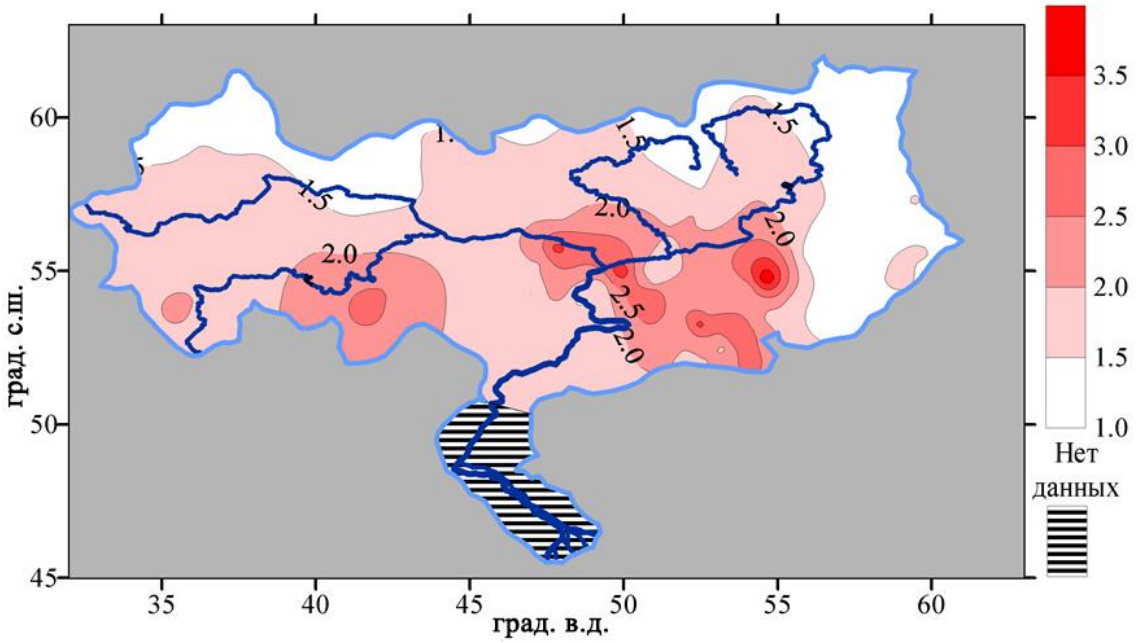


Рис. 9. Изменение минимального стока рек бассейна р. Волги за 1978-2010 гг. (в долях от среднего за предыдущий период). **FIg. 9.** Changes of the minimal rivers flow of the Volga Basin during 1978-2010 (percentage of the average value of the previous period).

Антропогенное воздействие на ВАП связано не только с зарегулированием стока Волги. Экономическая ситуация в конце XX века привела к упадку или полному разрушению территориальных водохозяйственных систем и малых гидротехнических сооружений, обеспечивавших в 1960-1980-х годах обводнение территорий Нижней Волги. Развитые мелиоративные системы, обеспечивавшие потребности агропромышленного комплекса и населения в воде, в настоящее время в основном находятся в нерабочем состоянии. Ослабление или полное отсутствие контроля над сооружением и эксплуатацией малых гидротехнических сооружений на проектных территориях приводит к тому, что последствия их сооружения и/или ликвидации непредсказуемы и временное улучшение ситуации с водообеспеченностью на отдельных участках приводит к ухудшению положения на близлежащих территориях. Локальное изменение местной гидрографической сети дамбами резко ухудшает экологическую ситуацию и способствует развитию процессов иссушения на

обширных площадях, играя подчас главную роль среди разных видов антропогенного воздействия.

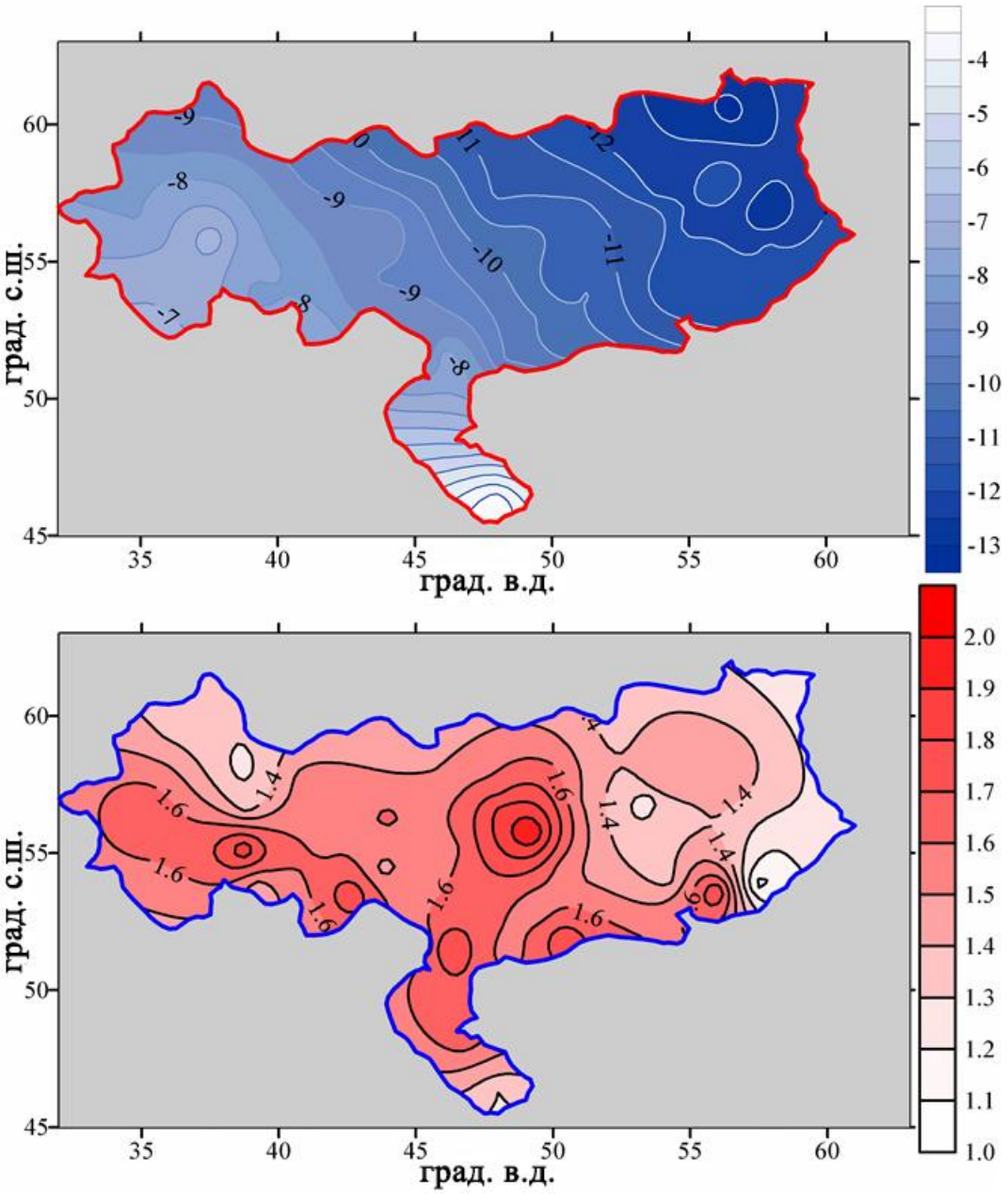


Рис. 10. Средняя температура воздуха (t°C) зимних месяцев за 1960-1978 гг. (вверху) и приращения к ней за 1979-2010 гг. (внизу). **Fig. 10.** Average air temperature (t°C) of the winter months during 1960-1978 (blue) and its increments during 1979-2010 (red).

В естественных условиях длительное заливание ВАП паводковыми водами создавало практически идеальные условия для воспроизводства здесь пойменно-речной рыбы фитофильной группы, а протоки и основное русло Волги служили естественным миграционным путем для проходных осетровых, сельди, белорыбицы и каспийской миноги. Последствия зарегулирования волжского стока для рыбного хозяйства в Волго-Ахтубинской пойме выразилось, прежде всего, в резком сокращении нерестовых пойменных угодий,

потере многими озерами поймы рыбохозяйственного значения вследствие резкого обмеления и возникновения не только зимних заморов (Вехов, 2009, 2012), но и летних, вследствие ухудшения аэрации воды. В результате сокращения нагульных площадей и замывки (заиления) зимовальных ям и бочагов многие ерики потеряли свое значение в качестве путей выхода рыбы из Волги на пойму в весенний период, а также ее нагула и зимовки. Пойма фактически утратила свое былое значение как идеальный естественный рыбопитомник, где роль мальковых, выростных и нагульных водоемов выполняли временные водоемы – полои и постоянные – озера, ерики, затоны. Из состава пойменного ихтиокомплекса в северной части Волго-Ахтубинской поймы практически выпали наиболее ценные в рыбохозяйственном отношении виды – сазан, сом – и в большинстве водоемов заменены тугорослыми эврибионтами – плотвой, окунем, уклеей, густерой, ершом, а также давшим резкую вспышку численности и ихтиомассы серебряным карасем (рис. 11; Природные комплексы …, 2011).

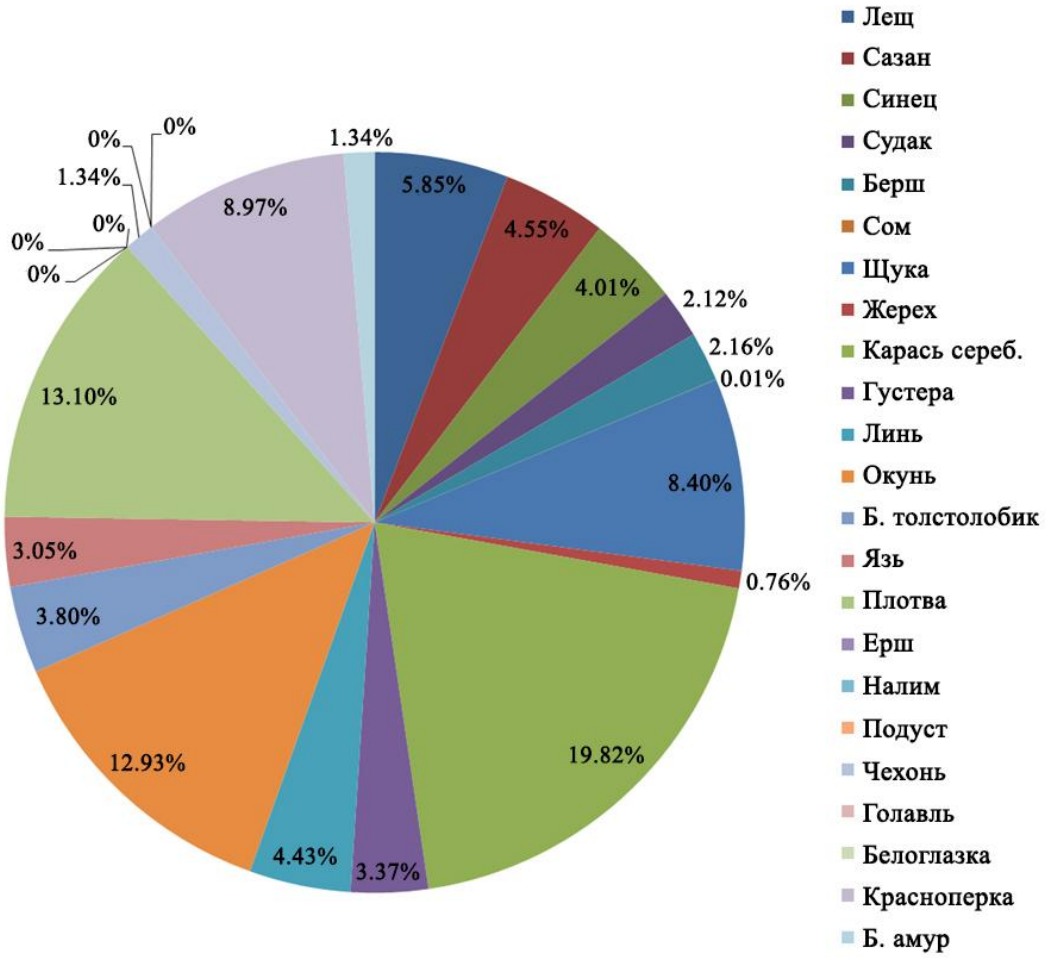


Рис. 11. Видовая структура уловов рыб в водоемах Волго-Ахтубинской поймы в 2010-2013 гг. (Отчет ..., 2014). **Fig. 11.** Species composition of fish crop in the water bodies of the Volga-Akhtuba floodplain during 2010-2013 (Отчет ..., 2014).

Изменение сроков и сокращение длительности половодья снизило значимость Волго-Ахтубинской поймы для водоплавающих птиц-мигрантов, которые стали пролетать через пойму транзитом или изменили основные пути миграций. Усыхание болот и лугов привело к сокращению типичных местообитаний различных уток, куликов, чаек и пастушковых,

особенно коростеля. Общая продуктивность пойменных угодий резко снизилась. Это было обусловлено, прежде всего, исчезновением крупных, колониальных и стайных видов (пеликанов, голенастых, гусей, уток, куликов), вместо которых пойму стали заселять преимущественно мелкие лесные, степные и склерофильные, дисперсно распространенные воробьиные птицы, отличающиеся большей пластичностью, эволюционно продвинутые и легче приспосабливающиеся к новым антропогенным ландшафтам и трансформированным местообитаниям (Землянов и др., 2010). Активная интродукция новых видов из разных групп во многие местные экосистемы, не имеющие достаточной устойчивости, приводит к их трансформации и деградации.

Одним из условий формирования и поддержания биоразнообразия является изменчивость условий окружающей среды. Чередование маловодных и многоводных лет положительно влияет на развитии биоценозов региона, а повторяющийся из года в год единообразный график попуска или устойчивый дефицит влаги в период половодья – негативно. В северной и средней частях Нижней Волги в основном наблюдается ксерофитизация луговой растительности.

В то же время на территории Нижней Волги выявлено некоторое число достаточно устойчивых биоценозов, мало реагирующих на изменения гидрологического режима. Это в первую очередь сообщества макрозообентоса естественных водоемов (Землянов и др., 2010). Более или менее устойчивыми и находящимися на ранних стадиях сукцессии являются водные экосистемы ВАП активно промываемых водоемов – русловых, связанных с руслами или лежащих на пути главных паводковых потоков; они сохраняют крупные размеры, большую или среднюю глубину.

К концу 1970-х гг., после завершения гидростроительства на Волге, водные сообщества, не испытывая более таких сильных стрессов, стали переходить в состояние равновесия, но фактически уже на другом, более низком биопродукционном уровне.

Всесторонний анализ экологического состояния Нижней Волги показывает, что в настоящее время в период зарегулирования стока в регионе сформировалась сложная и в целом относительно устойчивая экологическая система, которая, однако, испытывает возрастающее воздействие прямого локального антропогенного воздействия, а также климатических изменений. Для улучшения ситуации в пределах ВАП необходим комплекс природоохранных мероприятий.

Чтобы сохранить уникальную экосистему ВАП, необходимо увеличить количество поступающей в Ахтубу и водоемы ВАП воды. При этом надо иметь в виду, что ни дноуглубительные работы, ни расчистка русла Ахтубы не помогут направить дополнительный объем воды собственно в пойму. Эти мероприятия, наоборот, способствуют ее осушению, т.к. углубляемые водотоки будут иметь пониженный уровень воды, что приведет к дополнительной сработке запасов воды на пойме, в том числе и разгрузке подземных вод, особенно в маловодные годы.

Особенностью рельефа Волго-Ахтубинской поймы является то, что от начала ее верхней части и до г. Ахтубинска (150-170 км) русло Ахтубы расположено выше русла Волги и существует уклон внутри пойменных водотоков от Ахтубы к Волге (Горяйнов и др., 2004). В результате при прохождении весеннего половодья верхняя часть Волго-Ахтубинской поймы заполняется водой, в первую очередь из Ахтубы (Горелиц и др., 2014). Поскольку западная часть поймы, расположенная ближе к руслу Волги, приподнята, то заливание ее в половодье происходит при более высоких уровнях и Волга затапливает лишь небольшую площадь пространства поймы вдоль своего русла (до 6-8 км шириной). К тому же волжские воды существенно раньше и быстрее возвращаются в русло.

Таким образом, один из путей сохранения уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы – это увеличение количества поступающей в Ахтубу воды, но не через Волго-

Ахтубинской канал за счет увеличения сбросных расходов, а по специальному водоводу непосредственно из Волгоградского водохранилища (Болгов и др., 2017). При такой схеме создается основа для регулирования подачи воды в реку Ахтубу и, соответственно, в Волго-Ахтубинскую пойму в любой период года и в нужном режиме. Создадутся возможности для контроля над состоянием водоемов поймы (водность, уровень, температурный режим, химический состав воды и другие).

Гидродинамическое моделирования водотоков Нижней Волги

Исследования реализуемости и эффективности различных мероприятий, направленных на улучшение состояния водных объектов, проводились с помощью гидродинамической модели Нижней Волги, созданной в Институте водных проблем РАН на базе программного продукта “SOBEK”, разработанного Делфтской гидравлической лабораторией (Голландия; Sobek-rural …, 2004; Болгов и др., 2014а).

Общая структура гидродинамической модели (рис. 12) охватывает территорию от плотины Волжской ГЭС до побережья Каспийского моря. В структуру модели включены все основные рукава рек Волги и Ахтубы, протоки Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги, ширина которых в период межени превышала 20-25 м, и существующие гидротехнические сооружения. Более детально моделировались участки Волго-Ахтубинской поймы в пределах Волгоградской области (рис. 13).

В структуре модели учтены важнейшие протоки Волго-Ахтубиной поймы как постоянно действующие, так и пересыхающие, отражена система ериков, составляющих Каширинский и Краснослобдский тракты на верхнем участке ВАП в пределах Волгоградской области. В тех случаях, когда у водотока отсутствует постоянная связь с основным руслом, параметры поперечных сечений назначались так, чтобы вода поступала туда только в половодье. Для учета механизмов пойменного регулирования в структуру модели введены дополнительные емкости (на рисунке 13 – желтые круги), в которых вода на подъеме половодья накапливается, а затем сбрасывается в основное русло. Кроме того, в модели учтены гидротехнические сооружения как существующие, так и планируемые: Волжский вододелитель, регулирующие сооружения, насосные станции, трубчатые переезды, мосты и прочее. В структуру модели включались мосты (не понтонные), расположенные на постоянно действующих водотоках и водопропускные трубы диаметром больше 1 м (на непересыхающих руслах), дамбы учитывались путем соответственного увеличения высоты берегов рек и водотоков.

Для подачи воды непосредственно в водотоки Волго-Ахтубинской поймы в структуру модели дополнительно введены 4 насосные станции (рис. 13).

В модели задействовано 67 граничных узлов: 3 входных, через которые моделируется водоподача – сброс через Волжскую ГЭС, сброс воды от шлюзования и дополнительная подпитка в русло р. Ахтубы (рис. 13), в них граничные условия описываются расходами, м^3/с; 64 выходных, расположенных в устьях рукавов дельты Волги и определяющих условия поступления воды в Каспийское море. Граничные условия в этих точках задаются уровнем воды (м абс.).

Возможные режимы водоподачи исследовались на примерах лет различной водности. Более подробно остановимся на ситуации 2006 года. Весеннее половодье было очень маловодным, суммарный объем стока за половодье – 51.8 км^3, обеспеченность наивысших расходов (18300 м^3/сек) через Волжскую ГЭС составила 99.4%, в целом по 2 кварталу P=87%, а продолжительность периода половодья составила 41 сутки. Режим регулирования сбросов, по мнению местных специалистов, был для Волго-Ахтубинской поймы крайне неудачным (Горяйнов и др., 2007).

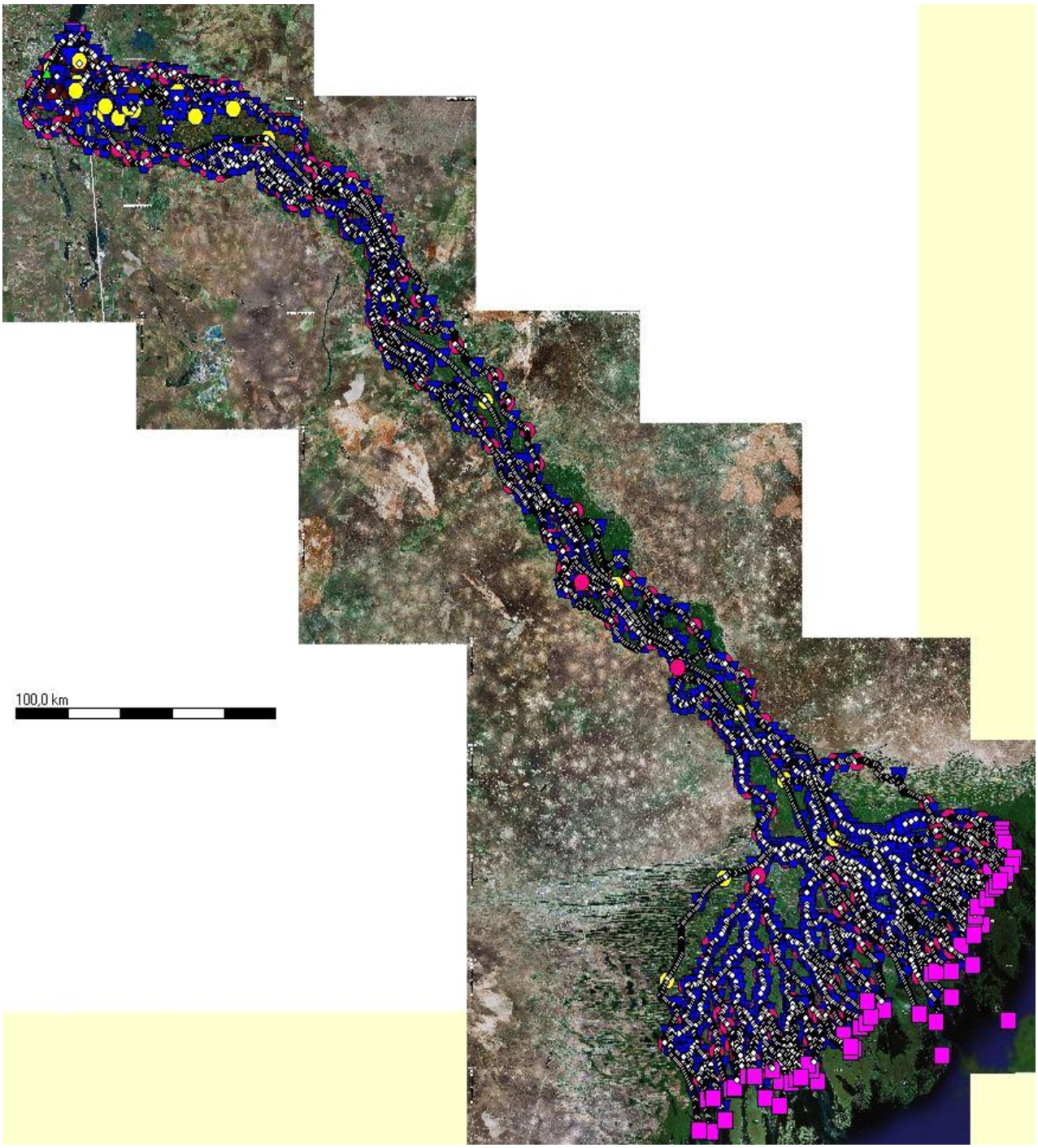


Рис. 12. Топографическая схема гидравлической модели Нижней Волги. *Условные обозначения* к рисункам 12 и 13: розовые квадраты – граничные узлы (входные и выходные), красные круги – назначенные расчетные узлы, синие треугольники – поперечные сечения, желтые круги – емкости с последующей отдачей воды, зеленые треугольники – вододелители, коричневые треугольники – насосные станции, белые точки – автоматические расчетные точки, соединительные линии – участки рек и каналов. **Fig. 12.** Topographic scheme of the Lower Volga hydraulic model. *Legend* to the figures 12 and 13: pink squares – entry and exit boundary nodes, red circles – set checkout nodes, blue triangles – cross section, yellow circles – reservoirs with the following water return, green triangles – water divider, brown triangles – pumping station, white dots – automatic checkout points, lines – rivers and channels.

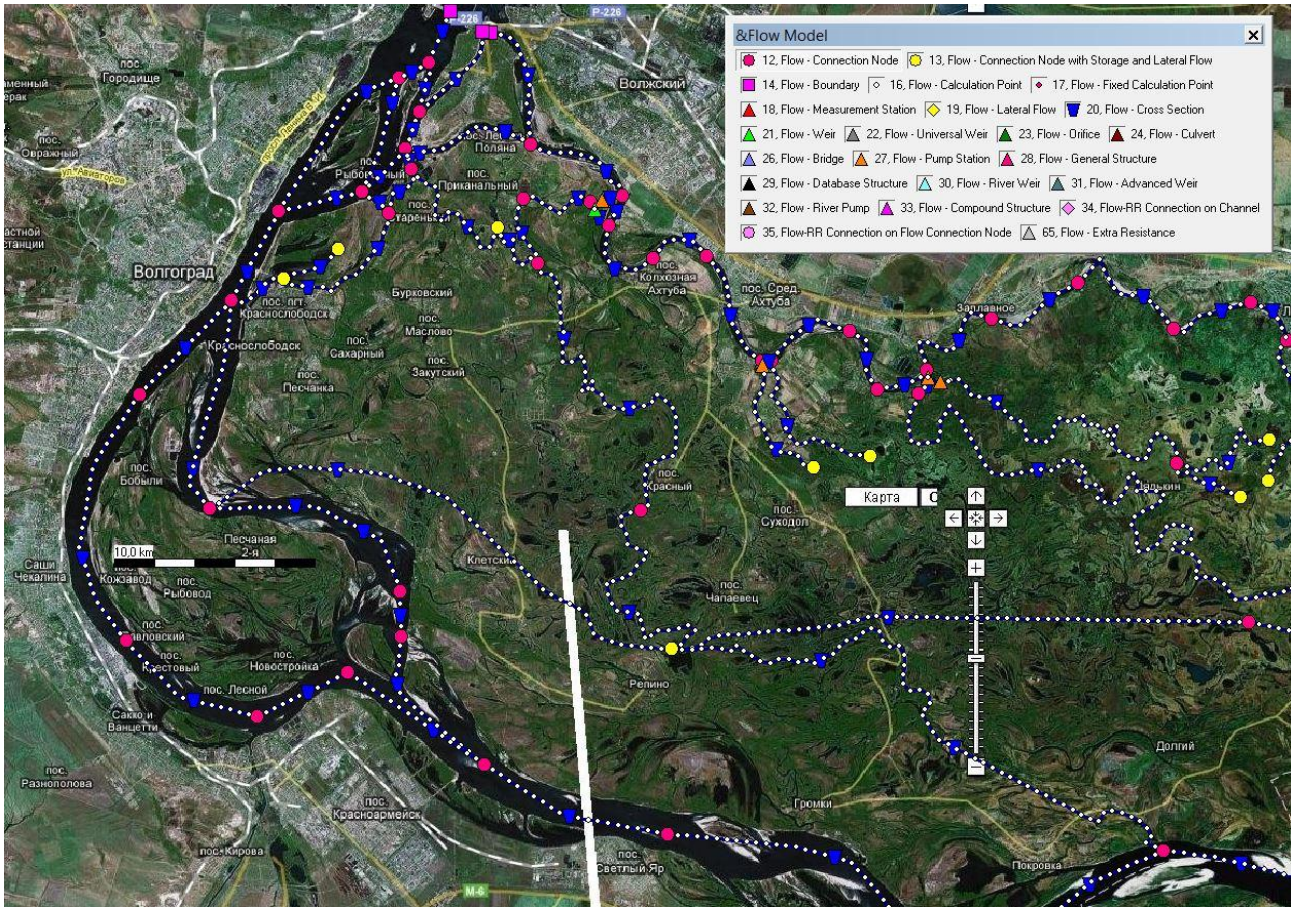


Рис. 13. Фрагмент топографической схемы гидродинамической модели (Волгоградская область). **Fig. 13.** Part of the topographic scheme of the hydrodynamic model in the Volgograd Region.

Подача воды в русло Ахтубы реализовывалась в модели на спаде волны половодья при расходах в нижнем бьефе ГЭС около 15000 м^3/сек и продолжалась с 15 мая 2006 года до 4 августа. Изучалось эффективность нескольких вариантов подачи воды в русло р. Ахтубы. Следует отметить, что только за счет дополнительной подкачки воды в Ахтубу изменить форму гидрографа весеннего половодья кардинальным образом не удается. Продолжительность половодья не увеличивается, а высота уровня при максимальном варианте водоподачи (500 м^3/сек) увеличивается примерно на 0.5 м, поскольку, как было отмечено выше, происходит разгрузка вод Ахтубы в Волгу. Рисунок 14 иллюстрируют тезис о перетоке воды из Ахтубы в Волгу при дополнительной подаче в нее воды. Через месяц после начала подкачки (13 июня) на спаде половодья начинается сток воды из Ахтубы в Волгу, который заканчивается 6 августа, то есть практически одновременно с ее окончанием. На рисунке приведен гидрограф в расчетной точке в начале канала у реки Ахтубы.

Для реализации схемы, учитывающей предотвращение оттока воды через Волго-Ахтубинский канал, в модель был включен дополнительный узел, моделирующий работу регулирующего сооружения (вододелителя). Регулирующее сооружение в Волго-Ахтубинском канале моделировалось плоским затвором шириной 200 м, который закрывается на спаде половодья, а после окончания подкачки – открывается. Начало работы сооружения зависит от соотношения уровней воды в Волге и Ахтубе. Из рисунка 15 видно, что подобная схема водоподачи может существенно продлить стояние воды на пойме.

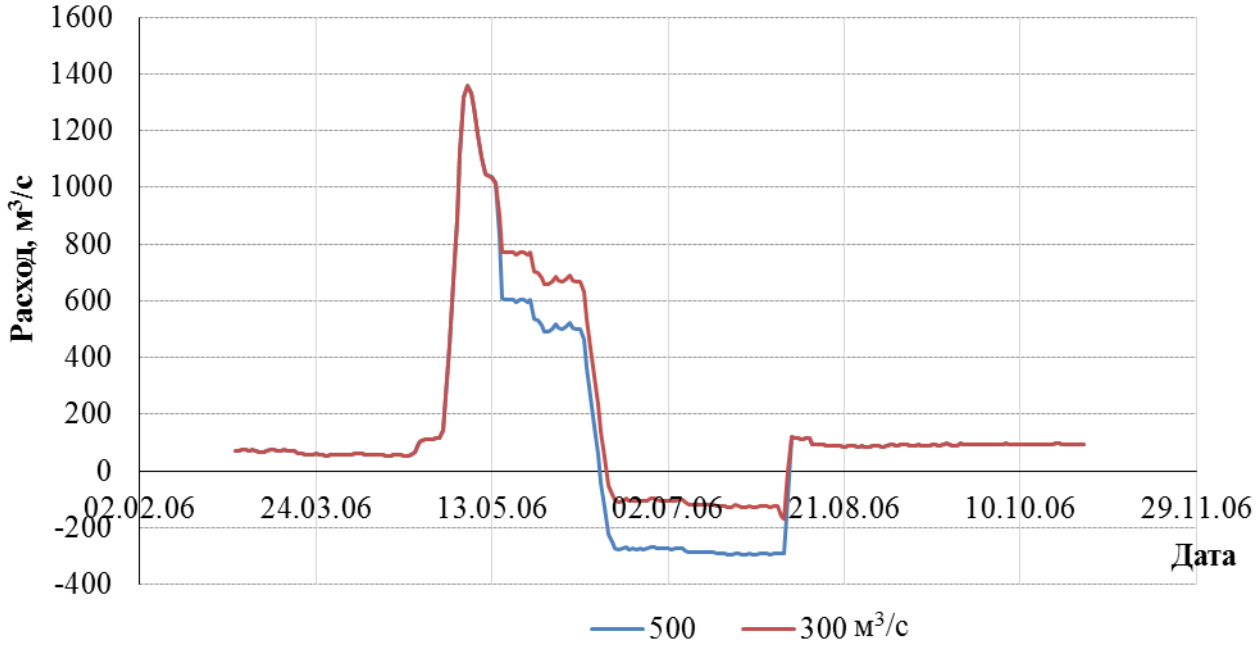


Рис. 14. Модельный гидрограф расходов воды в Волго-Ахтубинском канале у р. Ахтубы по расчетам водности за 2006 г. с дополнительной подкачкой 300 и 500 м^3/сек. **Fig. 14.** Model hydrograph of the water discharge in the Volga-Akhtuba channel near the River Akhtuba, according to the hydraulicity calculations during 2006, with the extra pumping of 300 and 500 m^3/sec.

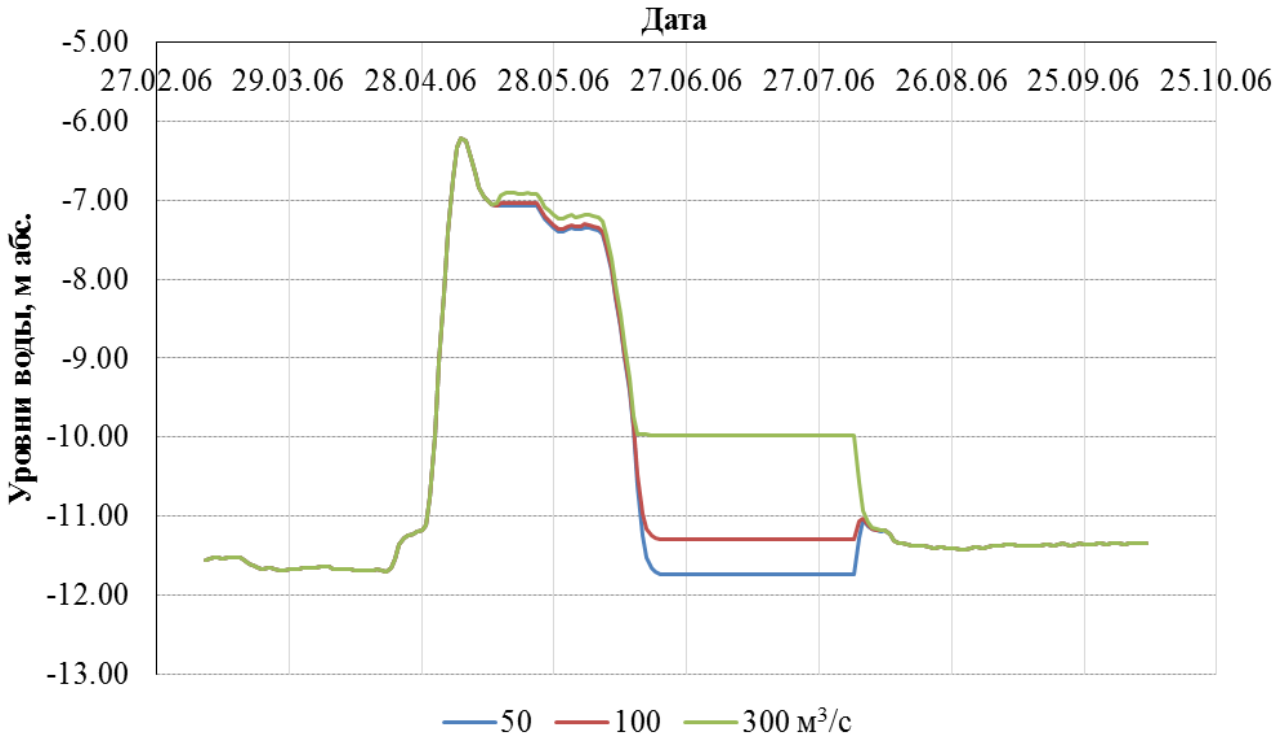


Рис. 15. Модельные уровни воды на узле Средней Ахтубы при разных вариантах водоподачи (50, 10 и 300 м^3/сек) и работе вододелителя в Волго-Ахтубинском канале в 2006 г.
Fig. 15. Model water levels at the node of the Middle Akhtuba at the different ways of water delivery (50, 10, 300 m^3/sec) and the water divider in the Volga-Akhtuba channel work in 2006.

Анализ результатов моделирования показал, что для дальнейших исследований следует остановиться на вариантах дополнительной подачи воды в Ахтубу в диапазоне от 100 до 300 м^3/сек, поскольку даже в маловодный год подкачка воды в размере 50 м^3/сек малоэффективна, так как расходы воды в канале, поступающие из Волги, ее превышают.

В качестве одного из технических вариантов рассмотрен расчет по маловодному 2006 году с разным режимом подкачки воды в Ахтубу: 300 м^3/сек с 15 мая по 1 августа, а дальше с 5 августа по 15 ноября – 100 м^3/с; вододелитель на Волго-Ахтубинском канале включен с 15 июня по 15 ноября. Результаты счета для п. Средняя Ахтуба приведены на рисунке 16.

Для многоводного 2005 года работа вододелителя имеет отрицательный эффект, перекрывая ток воды по каналу из Волги и таким образом уменьшая величину расхода и уровня воды в Ахтубе. Только при водоподаче 300 м^3/сек такого падения уровня не происходит и наблюдается положительный эффект (рис. 17). Сравнение расчетных данных с наблюденными показывает адекватную работу модели.

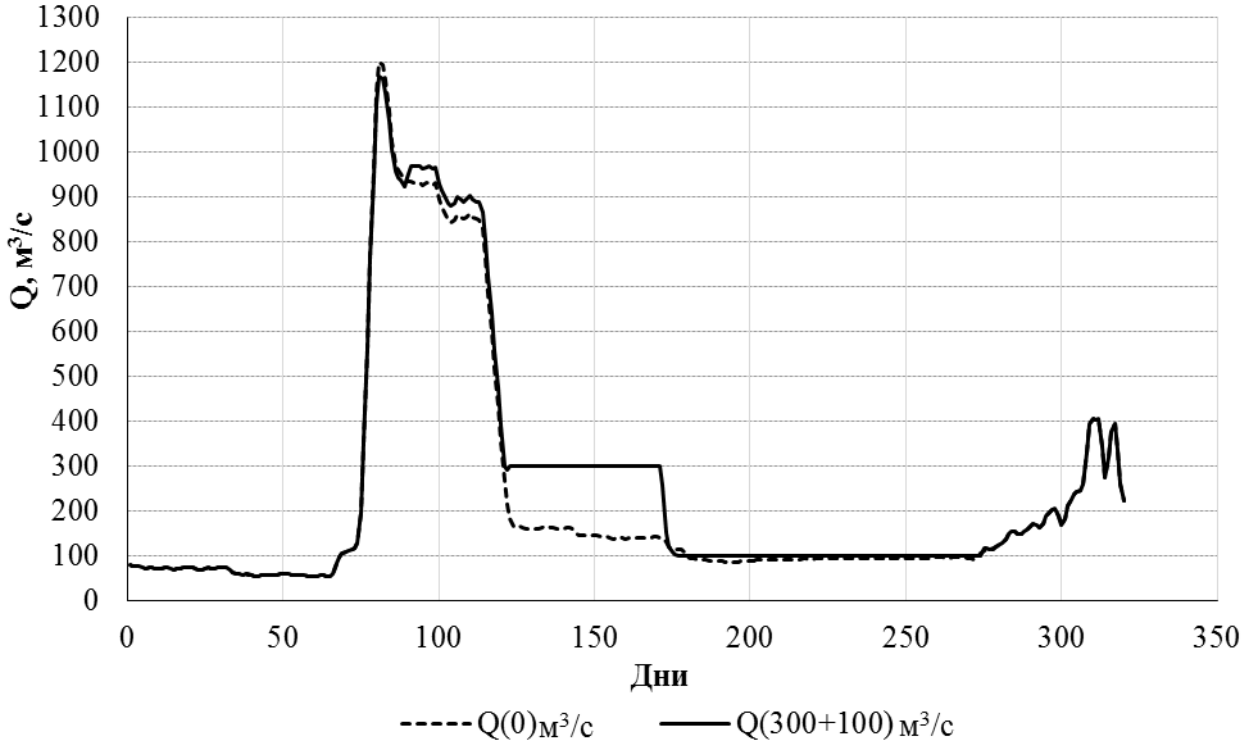


Рис. 16. Модельные расходы воды в р. Ахтуба (п. Средняя Ахтуба) при дополнительной водоподаче в реку и без нее, с учетом работы вододелителя. Условные обозначения: Q(0 м^3/с) – без водоподачи, Q (300+100 м^3/с) – с водоподачей, дни от начала года.

Fig. 16. Model water discharge in the River Akhtuba (the Middle Akhtuba sattlement) with and without the extra water delivery into the river, considering the water divider work. Notes: Q(0 m^3/s) – without water delivery, Q (300+100 m^3/s) – with water delivery, days from the year beginning.

Выводы

Результаты расчетов демонстрируют, что предложенный способ моделирования гидрологического режима и режима проточности водоемов и водотоков гораздо более

эффективен, чем используемые сегодня в практике различные регрессионные уравнения, связывающие режимные характеристики (уровни, расходы, продолжительности, приращения и т.п.) для пойменных водоемов и водотоков.

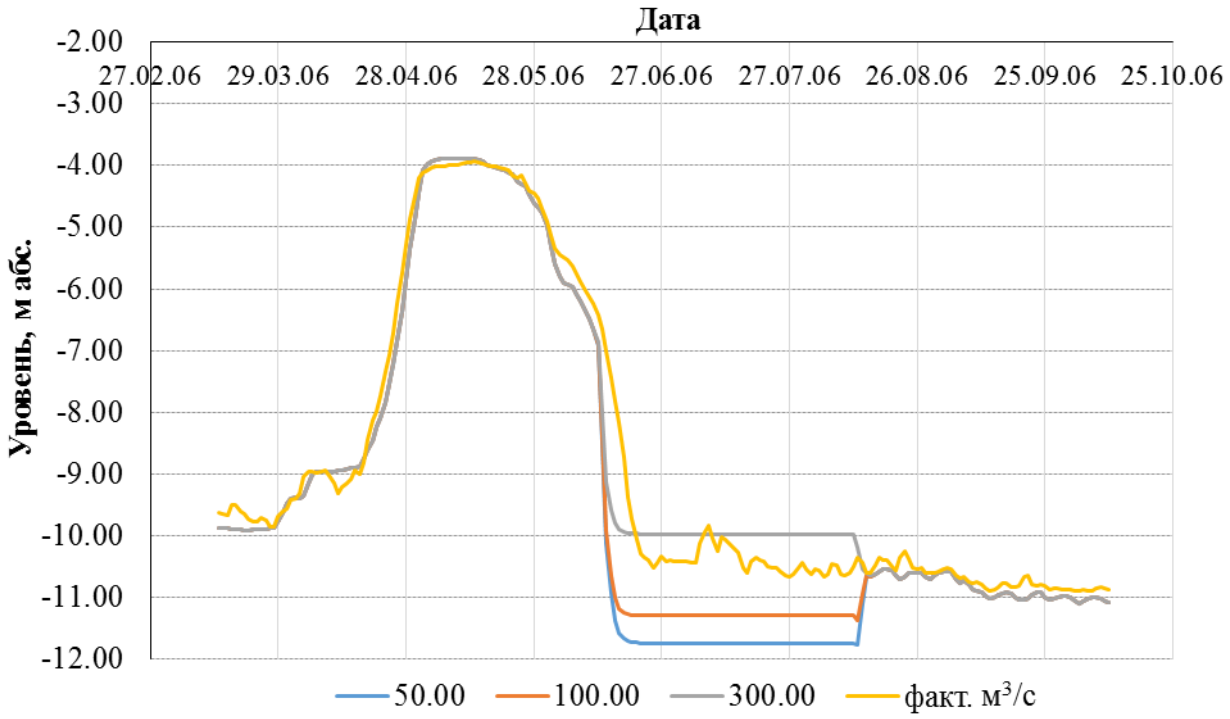


Рис. 17. Наблюденный и модельные уровни воды на узле Средней Ахтубы при разных вариантах водоподачи (50, 100 и 300 м^3/сек) и работе вододелителя в Волго-Ахтубинском канале в 2005 г. **Fig. 17.** Observed and model water levels ath the Middle Akhtuba node at the different ways of water delivery (50, 100, 300 m^3/sec) and the water divider work in the Volga-Akhtuba channel in 2005.

Исследование состояния экосистем Нижней Волги, находящихся под воздействием водного фактора, показало, что в результате строительства Волжско-Камского каскада гидроузлов и регулирования стока в регионе сложилась новая и в целом устойчивая экологическая система, которая адаптировалась к существующему гидрологическому режиму, но, тем не менее, испытывает возрастающее антропогенного воздействие, которое усугубляется климатическими изменениями.

Для предотвращения дальнейшей деградации и улучшения ситуации в пределах ВАП необходим комплекс природоохранных мероприятий и, прежде всего, дополнительная подача воды. Изучение эффектов, получаемых в результате реализации схем и объемов водоподачи в русло р. Ахтубы с помощью предлагаемой моделирующей системы, показало, что требуется система регулирующих сооружений, обеспечивающих реализацию экологических требований к водообмену водоемов и водотоков Волго-Ахтубинской поймы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. 2014б. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга // Метеорология и гидрология. № 3. С. 75-85.

Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Шаталова К.Ю. 2014а. Компьютерная гидродинамическая модель Нижней Волги // Водные ресурсы. Т. 41. № 1. С. 10-23.

Болгов М.В., Шаталова К.Ю., Харламов М.А, Муравьев В П., Соболь С.В., Соболь И.С., Февралев А.В., Сидоров Н.П., Красильников В.М., Хохлов Д.Н. 2017. Моделирование проточности Волго-Ахтубинской поймы в условиях изменения антропогенного воздействия // Гидротехническое строительство. № 5. С. 158-164.

Вехов Д.А. 2009. Состояние рыбных запасов северной части Волго-Ахтубинской поймы в неординарном по гидрологическим и метеорологическим условиям 2006 г. // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономическая экология. Сер. 3. № 1 (14). С. 248-255.

Вехов Д.А. 2012. Об особенностях водоемов северной части Волго-Ахтубинской поймы как среды обитания рыб // Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых «Комплексные исследования биологических ресурсов южных морей и рек». Астрахань: Издательство КаспНИРХ. С. 27-28.

Водные ресурсы России и их использование. 2008. С.-Пб.: Издательство ГГИ. 587 с.

Горелиц О.В. 1994. Характеристика уровненного режима при прохождении волн половодий и попусков в дельте Волги // Водные ресурсы. М.: МАИК Наука. Т. 24. № 4. С. 457-462.

Горелиц О.В., Землянов И.В. 2005. Исследование сезонных процессов в устьевой области Волги с использованием данных дистанционного зондирования // Водные ресурсы. Т. 32. № 3. С. 261-273.

Горелиц О.В., Землянов И.В., Сапожникова А.А. 2010. Многолетняя и сезонная изменчивость основных параметров гидрологического режима Нижней Волги в створе г. Волгограда // ООПТ Нижней Волги как важнейший механизм сохранения биоразнообразия: итоги, проблемы и перспективы. Материалы научно-практической конференции. Волгоград. С. 186-198.

Горелиц О.В., Землянов И.В. 2013. Современный механизм заливания территорий Волго-Ахтубинской поймы в период половодья (в пределах Волгоградской области) // Научный потенциал регионов на службу модернизации. Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ». Спецвыпуск. № 2 (5). С. 9-18.

Горелиц О.В., Землянов И.В. 2015. Современные гидрологические исследования водных объектов Нижней Волги // Материалы Международной научно-практической конференции «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности». Астрахань. С. 119-121.

Горелиц О.В., Землянов И.В., Синенко Л.Г. 2011. Влияние морфометрических характеристик русла на водообеспечение территорий Нижней Волги // Современное состояние водообеспеченности и пути оптимизации хозяйственной деятельности в зоне западно-подстепных ильменей. Материалы научно-практической конференции. Пос. Лиман, Астраханская область. С. 84-91.

Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Сапожникова А.А., Терский П.Н. 2014. Водный режим реки Ахтуба в условиях зарегулированного стока реки Волги // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. VIII Международная научно-практическая конференция. Москва, РУДН, 24-27 ноября 2014 г. Т. 2. С. 156-165.

Горяйнов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В. 2004. Волго-Ахтубинская пойма: особенности гидрографии и водного режима. Волгоград: Волгоградское научное издательство. 112 с.

Горяйнов В.В., Филиппов А.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В. 2007. Экологическая безопасность природно-хозяйственных систем Волго-Ахтубинской поймы: структура и организация мониторинга водного режима. Волгоградское научное издательство. 109 с.

Землянов И.В., Горелиц О.В, Павловский А.Е., Шикунова Е.Ю., Козлова М.В.,

Сапожникова А.А., Орлова М.А., Никишин А.Н., Клинкова Г.Ю., Яковлев С.В., Науменко А.Н., Горелов В.П., Вехов Д.А., Голуб В.Б., Чернобай В.Ф., Белик В.П., Луконина А.В., Супрун Н.А., Волынова Л.Г., Федотова А.В., Пилипенко В.Н., Яковлева Л.В., Перевалов С.Н., Сорокин А.П., Филиппов О.В., Золотарев Д.В., Солодовников Д.А., Синенко Л.Г., Олейников А.А. 2010. Анализ экологических последствий эксплуатации Волгоградского водохранилища для сохранения биоразнообразия основных водно-болотных территорий Нижней Волги // Отчет по Проекту ПРООН/ГЭФ 00047701 «Сохранение биоразнообразия водно-болотных угодий Нижней Волги». Москва: ГОИН. 675 с.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2015. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4 (65). С. 39-53.

Мажбиц Г.Л., Буланов Е.П. 2008. Изменение положения кривой связи расходов и уровней воды и русловые процессы в нижнем бьефе Волжской ГЭС // Водные ресурсы Волги: настоящее, будущее, проблемы управления. Астрахань: Издательство «АГУ». С. 232-240.

Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика. 2002 / Ред. Г.И. Рычагов, В.Н. Коротаев. М.: ГЕОС. 242 с.

Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту от 13 сентября 2013 года №10-ГК/ФЦП-2013 по реализации федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» по научному обоснованию мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов и устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса Нижней Волги, сохранение уникальной системы Волго-Ахтубинской поймы. Этап 2. Провести исследования гидравлических, гидроморфологических, гидрологических процессов и режимов при различных вариантах прохождения половодья по Нижней Волге, проведение комплекса полевых исследований. № госрегистрации 01201376234. М.: ФГБУ «ГОИН». 2014. 436 с.

SOBEK-Rural. 2004 // Delft Hydraulics Software manual. Delft. 250 p.

WATER AND ECOLOGY PROBLEMS OF THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN

© 2017. M.V. Bolgov*, K.Yu. Shatalova*, O.V. Gorelits, I.V. Zemlyanov****

**Water Problems Institute of RAS*
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str., 3. E-mail: k.shat@mail.ru, bolgovmv@mail.ru
***Zubov State Oceanographic Institute*
Russia, 119034, Moscow, Kropotkinsky Alley, 6

The article presents the hydrological factors of the changes of the water ecosystems condition in the Lower Volga. The general characteristic of the researching region problems are considered. The qualitative characteristics of the hydrological changes of the Lower Volga watercourses have been received with the help of the hydrometeorological monitoring data. It’s been revealed that these changes are very significant and can be considered as the main reason of the water ecosystems degradation in the researching region. To provide the improvement of the water bodies state in the Volga-Akhtuba floodplain the scheme of the additional water delivery into the River Akhtuba through the special water conduit is recommended. The effectivity of the recommended approach has been investigated by the method of the hydrodynamic modeling.

Keywords: Volga-Akhtuba floodplain, hydrological regime, river flow, nature ecosystems, nature management, water exchange, watering.

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 3, с. 38-99

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 528.7:629.78: 571.54

ОБЕЗЛЕСЕНИЕ – ОДНА ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ[1]

© 2017 г. П.Д. Гунин*, С.Н. Бажа*, Б.Ц. Балданов, Т.Г. Басхаева***, Ю.И. Дробышев*, Ч.Дугаржав****, С.В. Концов*, В.Л. Убугунов**, В.И. Убугунова**, С. Хадбаатар*****, Э.Г. Цыремпилов****

**Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН*
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 33. E-mail: monexp@mail.ru
***Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН*
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: ubugunovv@mail.ru
****Бурятский государственный университет*
Россия, 670000, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 24а. E-mail: baskhaevatg@gmail.com
*****Институт общей и экспериментальной биологии АНМ*
Монголия, 670040, г. Улан-Батор, ул. Жукова, д. 77. E-mail: chdugaa@yahoo.com
******Монгольский государственный университет образования*
Монголия, 210648, г. Улан-Батор, ул. Бага Тойруу, д. 14. E-mail: hadbaatar@mail.ru

В статье приводятся результаты исследований состояния растительного и почвенного покрова в лесостепных ландшафтах Российской и Монгольской частях бассейна озера Байкал. Выявлены основные причины гибели древесной растительности, связанные с условиями увлажнения почвогрунтов и замещения ее различными видами кустарников.
Ключевые слова: обезлесение, бассейн озера Байкал, лесостепные ландшафты, влажность почв, кустарниковые сукцессии.

Процесс деградации ландшафтов, связанный с их обезлесением, относится в настоящее время к самому распространенному в мире, поэтому трактуется как особо важный с функциональной точки зрения для сохранения экологической стабильности лесных регионов. Наиболее интенсивно и разнообразными путями происходит обезлесение в лесостепном поясе Евразии, в том числе и в сегменте, приходящемся на восточную, юго-восточную и южную (или бурятско-монгольскую) части бассейна озера Байкал. За последние 100 с небольшим лет антропогенному воздействию в той или иной степени подверглось около 40% всей территории забайкальских лесов. Особенно сильно подвержены антропогенному воздействию разреженные лесные массивы в лесостепной зоне. По мнению ученых Монголии, нарушенные леса возобновляются хвойными породами лишь на 30% от первоначальной площади, березой и осиной – на 43% и на 27% оставшейся площади замещаются нелесными экосистемами и теряют лесные свойства на достаточно длительный срок (Доржсурэн, 1990; Цэдэндаш, Дугаржав, 2004). В результате южная граница хвойных лесов имеет сложный фестончатый рисунок, и можно обоснованно предполагать, что она постепенно продвигается на север. Об этом свидетельствуют сохранившиеся массивы лесостепной растительности с участками лесных кустарников, березовых и осиновых рощ, а также наличие островных хвойных лесов, пока имеющихся на южной границе Селенгинского среднегорья, Хангайского и Хэнтэйского нагорий.

Сравнительный анализ лесопокрытости, факторов воздействия и степени нарушенности показал, что за истекшие 25 лет выстраивания в Монголии и Российской федерации новой

[1] Работа выполнена в рамках научной программы СРМКБЭ РАН и АНМ и подготовлена к публикации при финансовой поддержке гранта РГО-РФФИ № 4/2015.

экономической модели, ориентированной на рынок, количество лесов, нарушенных сильно и очень сильно (до IV и V степени), возросло с 21 до не менее чем 30%, а с учетом умеренно нарушенных – практически до половины всего лесного фонда. В настоящее время к основным факторам, снижающим лесопокрытость на всей территории бассейна, можно отнести прямые факторы воздействия: лесоразработки, пожары, гибель от повреждений насекомыми и их сведение в результате горно-промышленных разработок (фото 1).

а)

б)

Фото 1. Факторы обезлесения лесостепных ландшафтов в южной части бассейна Байкала: пожары (а) и вырубки (б). **Photo 1.** Deforestation factors of the forest-steppe landscapes in the South part of Baikal basin: fire (a) and felling (b).

Площади лесных пожаров в Забайкалье, включая и монгольские леса, охватывают порой до 500 и более тыс. га, что не только сопоставимо с площадями, пройденными рубками главного пользования, но и значительно их превосходит.

Рубки, лесные пожары и горнопромышленные разработки в лесных ландшафтах изменяют, иногда необратимо, не только сам древостой, но и весь комплекс экологических условий. В частности, они приводят к изменениям почвенного покрова, образованию процессов эрозии, а в условиях распространения вечной мерзлоты – к развитию солифлюкционных и оползневых явлений. Линзы вечной мерзлоты, сохраняющиеся в грунтах не в последнюю очередь благодаря лесам, тают и лишают лесные ландшафты запасов влаги.

Значительный вред лесным экосистемам наносит также выпас домашних животных, который наиболее характерен для Монголии. Например, в гослесфонде аймаков (административных районов) в пределах бассейна Селенги учтено 37.8 тыс. га пастбищных угодий, которые сейчас представлены горными степями и непосредственно используются под выпас. Свыше трети поголовья скота содержится в лесостепных регионах Селенгинского бассейна и выпасается в горных степях, долинах рек, соседствующих с лесами. Особенно часто используются для выпаса места после сплошных и условно сплошных рубок, в результате чего на них прекращаются, а в лучшем случае существенно задерживаются лесовосстановительные процессы (фото 2).

Фото 2. Подрост лиственницы, поврежденный пасущимся скотом (аймак Завхан, Монголия).
Photo 2. Larch undergrowth, damaged by the grazing livestock (aimak Zavkhan, Mongolia).

Кроме того, естественное лесовосстановление в лесостепных ландшафтах бассейна Байкала имеет некоторые особенности, а сами демутационные сукцессии до сих пор изучены недостаточно. Ранее убедительно было показано, что на вырубках и гарях хвойные насаждения восстанавливаются по типичному варианту европейских и южно-сибирских смен, т.е. с формированием длительно-производных березняков (Коротков, 1976; Леса ..., 1978). Однако в ходе наших предварительных исследований значительной территории Селенгинского среднегорья по выбору модельных полигонов и ключевых участков мы не встречали практически ни одного сколько-нибудь крупного массива с хорошо развитым подростом или с молодняком (в пределах I-II классов возраста) хвойных пород. Вместо классической схемы восстановления лесов через производные мелколиственные (осина, береза), характерной для сибирских лесов России, здесь отмечается повсеместное замещение сведенных древостоев на чистые и смешанные заросли из ксерофитных, мезоксерофитных и

ксеромезофитных кустарников: миндаля черешкового (*Amygdalus pedunculata*), спиреи водосборолистной (*Spiraea aquilegifolia*), абрикоса сибирского (*Armeniaca sibirica*), березы бурой (*Betula fusca*) и курильского чая (*Dasiphora fruticosa*), а также остепнение.

Таким образом, в настоящее время существует необходимость детального исследования динамики древесно-кустарниковой растительности в лесостепных ландшафтах, в том числе на южном пределе распространения бореальных лесов в Монголии. Рассмотренные нами процессы обезлесения связаны, прежде всего, с изменением ландшафтно-экологических условий в лесных экотопах, лишенных сейчас коренных бореальных лесов или резко снизивших свое значение в процессе формирования постлесных сообществ.

Среди природных и антропогенно стимулированных факторов, вызывающих в наши дни обезлесение ландшафтов в лесостепной зоне Южной Сибири, необходимо выделить следующие:

1) иссушение корнеобитаемого слоя почвогрунтов;
2) переувлажнение корнеобитаемого слоя почвогрунтов;
3) конкурентные отношения между древесной и кустарниковой растительностью.

В разных частях экотонной зоны наблюдаются различные проявления указанных факторов, действующих как в относительно изолированном виде, так и в различных комбинациях. Рассмотрим их на примере ключевых участков, заложенных и исследованных нами в северной – российской («Верхний Куйтун» и «Усть-Киран») и южной – монгольской («Налайх», «Шарын-Гол», «Шамар» и «Тосонцэнгэл») частях бассейна озера Байкал.

Материалы и методы

Изучение сукцессионных смен сосновых и лиственничных лесов проводилось на ключевых участках в лесостепных ландшафтах Баргузинской котловины, в Хангае, Селенгинском среднегорье и Западном Хэнтэе (табл. 1). Основными факторами, вызывающими нарушения лесных экосистем являются систематические рубки и пожары. Специфика методов оценки здесь обусловлена ведущей эдификаторной ролью древесного яруса, в связи с чем одним из критериев определения состояния экосистемы является процентное соотношение основных лесообразующих пород и доля уничтоженного (поврежденного) древостоя. Наряду с этим, оценивается состояние нижних ярусов: повреждение подлеска, травяно-кустарничкового яруса, особенности мохово-лишайникового покрова и подстилки: наличие/отсутствие, мощность, проективное покрытие и т.п. (Краснощеков и др., 1990; Методология …, 1993; Доржсурэн, 2009), а также степени участия в структуре лесных сообществ, внедряющихся в лесные экотопы не характерных для них кустарниковых видов.

Одним из самых главных критериев оценки степени нарушенности является критерий площади нарушенности. Такие площади отдельных выделов оценивались по соотношению площади нарушенных участков к площади контура или выдела экосистемы (табл. 2).

Важным показателем степени нарушенности лесных экосистем, определяющим способность их к самовосстановлению, является оценка состояния подроста (наличие/отсутствие, жизненность, сомкнутость, высота). Кроме того, при определении современного состояния и динамики развития нарушенных лесов учитывалась направленность и характер сукцессионных смен. При этом использовались стандартные лесоведческие, геоботанические и флористические методы (Методы ..., 2002). Анализировалось современное состояние сообществ на основе сравнения флористического состава, обилия, состояния и жизненности входящих в нее видов. Сообщества, развивающиеся на одной высоте над уровнем моря и на одном элементе рельефа, объединялись в один сукцессионный ряд.

Таблица 1. Основные характеристики географического расположения ключевых участков.
Table 1. Main feauters of the index plots geographic locations.

Название объекта	Географические координаты	Положение в системе ландшафтного районирования*	Площадь (км^2)	Название ландшафта
1. Ключевой участок «Верхний Куйтун»	54° 24' 39.3" с.ш., 54° 16' 44.1" с.ш., 110° 27' 05.2" в.д., 110° 47' 30.8" в.д.	Прибайкальская горнотаежная и котловинная провинция. Байкало-Джугджурская горно-таежная область	241.6	Предгорно-котловинный лесостепной с сосновы-ми лесами и разнотрав-но-злаковыми степями и залежами
2. Ключевой участок «Усть-Киран»	50° 31' 45.6" с.ш., 50° 22' 59.7" с.ш., 106° 44' 23.4" в.д., 106° 50' 52.9" в.д.	Селенгинско-Орхонская котловинно-среднегорная провинция. Южно-Сибирско-Хангай-Хэнтэйская горная область	125.5	Низкогорно-долинный лесостепной с сосновы-ми лесами, разнотравно-злаковыми степями,и пойменными лугами и богарными (пахотными и залежными) землями
3. Ключевой участок «Шамар»	50° 04' 21.8" с.ш., 50° 00' 08.0" с.ш., 106° 11' 17.6" в.д., 106° 17' 29.9" в.д.		52.7	
4 . Ключевой участок «Салхит»	49° 16' 59.8" с.ш., 49° 04' 19.9" с.ш., 105° 39' 28.8" в.д., 106° 05' 54.2" в.д.	Селенгинско-Орхонская котловинно-среднегорная провинция. Южно-Сибирско-Хангай-Хэнтэйская горная область	75.2	Низкогорно-долинный лесостепной с сосновыми (по большей части сведенными) лесами, разнотравно-злаковыми степями и богарными землями (пахотными, залежными) Среднегорно-котловинный лесостепной с лиственничниками и осиново-березовыми сильнару-шенными лесами, кустарни-ковыми зарослями, разно-травными лугами и разно-травно-злаковыми степями
5. Ключевой участок «Шарын-Гол»	49° 17' 51.5" с.ш., 49° 15' 09.8" с.ш., 106° 22' 32.05 в.д., 106° 27' 20.2" в.д.		29.1	
6. Ключевой участок «Налайх»	47° 38' 32.8" с.ш., 47° 35' 23.1" с.ш., 107° 19' 15.1" в.д., 107° 23' 07.5" в.д.	Онон-Хэнтэйская котловинно-горнотаежная провинция. Южно-Сибирско-Хангай-Хэнтэйская горная область	27.9	
7. Ключевой участок «Тосон-цэнгэл»	47° 44' 32.3" с.ш., 47° 28' 20.1" с.ш., 107° 02' 22.1" в.д., 107° 26' 17.5" в.д.	Хангайская нагорная горно-таежная горно-луговая сухостепная провинция. Южно-Сибирско-Хангай-Хэнтэйская горная область	44.0	Среднегорный горно-таежный, горностепной с лиственничными сильно-нарушенными лесами, кус-тарниковыми зарослями и полынно-лапчатково-злако-выми деградированными степями

Примечания к таблице 1: * − названия областей, провинций и типов ландшафтов даны по картам природного и физико-географического районирования (Экологический атлас …, 2015). **Notes to the table 1:** * − names of regions, provinces and landscape types are cited from the maps of the natural and geographical zoning (Экологический атлас …, 2015).

Таблица 2. Критерии оценки состояния экосистемы по площади нарушенности.
Table 2. Criteria of the evaluation of the ecosystem state, by the disturbance area.

Балл	Степень нарушенности	Критерии оценки (площадь нарушенной экосистемы, %)
0	Ненарушенная (фон)	Менее 10
1	Слабая	10-25
2	Средняя	26-50
3	Сильная	51-75
4	Очень сильная	Более 75

Полные геоботанические описания в лесу и зарослях кустарников составлялись на пробных площадях размером 400 м^2; размеры пробных площадей для выполнения таксации варьировались от 100 до 10000 м^2 в зависимости от густоты древесно-кустарниковой растительности и ее размеров. В лиственничных лесах были проведены учеты *Betula fusca* (модельный полигон «Налайх»), *Caragana bungei* и *C. spinosa* (ключевой участок «Тосонцэнгэл»), в сосновых лесах – *Amygdalus pedunculata, Dasiphora fruticosa* (модельный полигон «Шарын-Гол»), *Armeniaca sibirica* (ключевой участок «Шамар»), *Ulmus pumila* (ключевые участки «Салхит» и «Усть-Киран»).

Кроме того, в связи с обнаружением в Баргузинской котловине процессов усыхания сосновых лесов, нами была разработана специальная семибалльная шкала степени усыхания древостоев по количеству высохшей хвои:

1 – дерево без признаков усыхания;
2 – усохло менее 25% хвои;
3 – усохло 26-50% хвои;
4 – усохло 51-75% хвои;
5 – усохло более 76% хвои;
6 – погибшее дерево;
7 – старый сухостой.

Состояние деревьев тополя в полезащитных лесополосах учитывалось по следующим категориям: дерево живое, усохшее, поросль из спящих почек, живая корневая поросль, погибшая корневая поросль.

Таксационные измерения включали для каждого вида деревьев промеры высоты и диаметров стволов; для кустарников – числа стволов, высоты и диаметров кустов. Для оценки надземной фитомассы кустарников отбирались модельные особи, обычно из трех размерных групп: малая, средняя, большая. Срезанную фитомассу высушивали до абсолютно сухого веса при 105°С и взвешивали.

В лесных сообществах оценивалось возобновление древесных пород на учетных площадках 1 м^2, но если самосев и подрост был очень разрежен, что было характерно для большинства исследованных сообществ, увеличивали площадки до 100 м^2 и более.

Как правило, таксационные работы сопровождались исследованиями почвенного покрова, для чего делались разрезы глубиной до 1 м (в ряде случаев, как, например, в Баргузинской котловине, до 2 м), в которых описывался почвенный профиль и отбирались образцы для определения влажности и для физико-химического анализа.

В свою очередь это позволило установить местообитания, пригодные для искусственного лесоразведения.

Результаты и обсуждение

Иссушение почв как фактор деградации и опустынивания лесостепных ландшафтов

В аридных и семиаридных условиях бассейна Байкала естественная влажность корнеобитаемых почвенных горизонтов служит одним из важнейших лимитирующих факторов распространения лесных сообществ.

К середине 2016 г. на ключевом участке «Верхний Куйтун» сложилась критическая ситуация с усыханием лесных полос и естественных участков леса, которая по своему значению может считаться бедствием на региональном уровне (фото 3). Для выяснения причин, приведших к локальному усыханию сосны и тополя, в том числе климатических, в районе исследований нами было проведен детальный анализ многолетних климатических показателей, полученных с рядом расположенной метеостанцией «Курумкан» (12 км юго-западнее полигона). При анализе данных использовали 50-летний период наблюдений с 1966 по 2015 гг. и исходили из того, что количество поступившей влаги является важной фоновой характеристикой, на аккумуляцию которой накладывались такие параметры, как водно-физические, физико-химические свойства почв и подстилающих пород, локальная неоднородность рельефа на мезо- и микроуровне, котловинный климатический эффект и проективное покрытие растительными сообществами.

Анализ климатических данных показал, что на участке «Верхний Куйтун» в Баргузинской котловине выделяются два трехлетних засушливых цикла (1977-1979 и 2013-2015 гг.; Убугунов и др., 2017). Многолетние климатические изменения в Баргузинской котловине привели к увеличению аридности климата в настоящее время. Это привело к усыханию древостоев из-за иссушения почвогрунтов в первых двух метрах толщи. Подробно этот процесс рассмотрен нами в другой работе (Убугунов и др., 2017), где представлены фактические материалы по запасам продуктивной влаги в почво-грунтовой толще до 200 см для лесных (сосновых, тополя бальзамического) сообществ, находящихся на разных стадиях существования. Гибель сосновых лесов установлена для значительной территории, поэтому она рассматривается как локальная катастрофа горных котловин Юго-Восточной Сибири.

Для того чтобы изучить, как распространяются процессы усыхания сосновых лесов и лесополос из тополя в регионах бассейна Байкала, исследования были проведены также на ключевом участке «Усть-Киран» в лесостепном ландшафте с сосновыми лесами, ильмовым редколесьем и значительными площадями распаханных целинных степей с большим количеством лесополос из тополя лавролистного. Результаты исследований показали, что значения влажности почвогрунтов в горизонтах до 100 см легкого (песчаного и супесчаного) гранулометрического состава практически идентичны с почвами на ключевом участке в Баргузинской котловине (Гунин и др., 2015), хотя и значительно варьируются – от 1.2 до 8.8% (табл. 3), но в целом во всех местообитаниях в 2-5 раз превышают таковые на ключевом участке «Верхний Куйтун». Так, под целинной степью на глубине менее 40 см она практически не опускается ниже 2.0%, в разреженных сосняках и ильмовниках по залежам держится на достаточно высоком уровне (4-5%), а своих наибольших значений (8%) достигает в ильмовниках с высоким проективным покрытием. Все это говорит о более благоприятных условиях увлажнения, складывающихся как под естественными растительными сообществами (целинная степь, разреженный сосняк), так и на залежных землях, где к настоящему времени сформировались редкостойные ильмово-сосновые и сосново-ильмовые сообщества 20-25-летнего возраста.

В то же время необходимо отметить, что древостой в лесополосах не всегда отличается удовлетворительным состоянием. В ряде случаев, как, например, близ точек УК-24 и УК-30, нами были зарегистрированы участки лесополос из суховершинных и полностью засохших

особей тополя лавролистного, в то время как более ксерофитная *Caragana arborescens* чувствовала себя нормально (фото 4). Это позволяет предположить, что ухудшение экологических условий (в сторону иссушения) для древесных видов, в первую очередь таких мезофитных, как тополь, ощутимо и в других ландшафтах Байкальского региона.

а)

б)

Фото 3. Сосновые насаждения на ключевом участке «Верхний Куйтун» в июне 2015 г. (а) и в июне 2016 г. (б**). Photo 3.** Pine plantations on the index plot “Verhniy Kuitun” in June 2015 (a) and in June 2016 (b).

Таблица 3. Естественная влажность (%) почвогрунтов в разных ландшафтно-экологических условиях на ключевом участке «Усть-Киран». **Table 3.** Natural moisture (%) of soils in the different landscape-ecological conditions on the index spot “Ust’-Kiran”.

№ точки	УК-1	УК-10	УК-24	УК-30	УК-11	УК-31
Глубина, см	Старая залежь с вязовником	Старая залежь с разреженным сосняком (вязовым)	Залежь с травяной сорной растительностью	Залежь с восстановившимся осоковым покровом	Редкостойный сосняк	Целинная степь
0-10	2.5	1.6	1.3	1.2	1.5	1.5
10-20	3.1	5.3	2.5	2.4	2.3	1.8
20-40	3.0	5.3	3.9	3.8	2.4	3.2
40-60	4.8	4.7	4.2	5.4	2.4	3.0
60-80	8.8	4.8	5.5	5.1	2.5	2.8
80-100	8.0	4.6	7.7	4.2	3.1	2.0

Переувлажнение корнеобитаемого слоя почвогрунтов как фактор, препятствующий лесовозобновлению

Древесно-кустарниковая растительность ключевого участка «Налайх» дает яркий пример сукцессий, вызванных переувлажнением почвогрунтов, которое обусловлено геолого-геоморфологическими особенностями данной территории. Несомненно, немалый вклад в этот процесс внес и человек, вырубавший коренные лиственничные древостои. В настоящее время растительность здесь характеризуется разнообразными сочетаниями высокогорных, лесных, луговых, болотных и степных сообществ, на распространение которых влияет не только экспозиция и крутизна склонов, но и почвенные условия, а также неравномерное распределение в зимнее время снежного покрова.

Древесно-кустарниковая растительность полигона «Налайх» представлена фрагментами лиственничных лесов, вкрапленных в массивы низкорослых березняков, которые сложены *Betula platyphylla* и *B. fusca*, иногда с примесью осины (фото 5). Размеры этих массивов сильно варьируют. Верхний предел распространения лесной растительности на пологих склонах северных экспозиций находится на отметке 1845 м. Собственно лесные сообщества покрывают незначительные площади и представлены лишь светлохвойной формацией лиственничных лесов. Эти леса представлены ассоциациями: травяными лиственничниками и разнотравно-осоково-злаковыми ерниками с редкостойными лиственницами.

Лиственничники злаково-разнотравные сложены *Larix sibirica* и занимают крутую верхнюю и более пологую среднюю части склона северо-восточной экспозиции. Состав 10Лц. В истории их формирования прослеживаются 2 «волны» (35-40 и около 25 лет назад), по-видимому, связанные с благоприятным сочетанием обильного обсеменения и достаточной влажности. Средняя высота деревьев составляет 17-19 м, средний диаметр – 16 см. При этом выделяются экземпляры, значительно превосходящие размерами остальных. Их в насаждении порядка 10-15%. Можно полагать, что это и есть деревья, заселившие территорию раньше других и имевшие в условиях редкостойности большой годичный прирост. Такое явление вполне типично для хвойных лесов Монголии на границе со степью.

а)

б)

Фото 4. Усыхание лесополосы из тополя лавролистного (а) и нормальное состояние лесополосы из караганы древовидной (б) на ключевом участке «Усть-Киран».
Photo 4. Drying of the forest belt, formed by *Populus laurifolia* (a), and normal state of the forest belt, formed by Caragana arborescens (б), on the index spot “Ust’-Kiran”.

а)

б)

Фото 5. Лесные экосистемы ключевого участка «Налайх»: лиственничник злаково-разнотравный (а) и березняк разнотравно-осоково-злаковый (б). **Photo 5**. Forest ecosystems of the index plot «Nalaikh»: grass-herb larch forest (a), herb-sedge-grass birch forest (б).

Деревья по площади размещены неравномерно, но ясно различимых куртин и биогрупп не образуют, полнота 0.7, бонитет II (табл. 4). Отпад низового типа, непатологический, вредителей и болезней не обнаружено. Сбег ствола незначительный, поэтому древостой может представлять не только экологический, но и хозяйственный интерес. В насаждениях практикуются браконьерские выборочные рубки и выпас скота. На момент обследования выборочными рубками выбрано не менее 15% древостоя. Количество подроста крайне мало (порядка 56 шт./га) и совершенно недостаточно для естественного возобновления леса, причем не весь подрост может быть отнесен к категории благонадежного. Подлесок разрежен и неравномерно распределен, его общее проективное покрытие до 17%, состоит из трех видов: *Cotoneaster melanocarpa*, *Spiraea media* и *Rosa acicularis*, и повсеместно на крутых и пологих склонах и шлейфах в опушечных условиях обильно встречается *Betula fusca*. Травяной покров злаково-осоково-разнотравный (общее проективное покрытие от 70 до 80%). По нижней кромке имеется оторочка осинников, тянущихся узкой полосой между лиственничниками и березняками. Положение лиственничного леса близ верхнего края склона и отдельными «островками» ниже может объясняться оптимальным термическим режимом и увлажнением почв. Ниже по склону почвы переувлажнены, что не соответствует экологическим требованиям лиственницы. Кроме того, густые заросли березы и достаточно высокий травостой должны препятствовать расселению этой древесной породы, хотя отдельные лиственницы встречаются среди ерников.

Таблица 4. Основные таксационные показатели сообществ, сложенных *Larix sibirica*.
Table 4. Main taxacation indices of the communities, formed by *Larix sibirica*.

Пробная площадь №, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	Сообщество	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Полнота	Бонитет
36, 47° 37' 03.5" с.ш., 107° 21' 13.3" в.д.	Лиственничник травяной	35-40	18-20	16	0.7-0.8	II
Т-1 (NB), 47° 36' 59.8" с.ш., 107° 20' 44.3" в.д., 1818 м	Лиственничник злаково-разнотравный	45-50 (60)	18	21	0.7	III

Лиственничные травяные леса отличаются небольшой полнотой древостоя, что обеспечивает достаточный световой режим для произрастания свето- и теплолюбивых видов подлеска и травяного яруса, поэтому задернение здесь достигает 100%, на почве встречаются мхи (*Polytrichum* sp.) с покрытием до 0.5%, лишайников нет. Самосев лиственницы не отмечен. В травяном ярусе доминирует осока *Carex pediformis* (проективное покрытие 12-15%). Общее проективное покрытие травяного яруса превышает 50% (до 65%). В сообществах регулярно, хотя и с небольшим обилием, встречаются парцеллы кустарников (*Rosa acicularis*, *Spiraea media*, *Cotoneaster melanocarpus*), а также изредка лиана, характерная для светлохвойных лесов – *Atragene sibirica*. В травяном покрове наряду со светлохвойными элементами (*Sanguisorba officinalis*, *Trifolium lupinaster*, *Valeriana alternifolia*, *Geranium pratense*, *Lathyrus humilis*, *Fragaria orientalis*, *Pedicularis resupinata*), встречаются степные виды (*Poa pratensis*, *Bromopsis inermis*, *Thalictrum petaloideum*, *Vicia cracca*, *Chrisanthemum zawadskii*, *Anemone sylvestris*, *Sedum aizoon* и другие).

Хотя эти леса и расположены на северных склонах, они не являются настоящими таежными лиственничниками, что говорит об их относительно молодом возрасте. Отсутствие типичных таежных видов (*Rhododendron dahuricum, Vaccinium vitis-idaea, Arctostaphylos uva-ursi, Linnaea borealis, Maianthemum bifolium, Equisetum scirpoides*), активное проникновение степных видов может свидетельствовать о значительной сухости и благоприятном тепловом режиме.

Сообщества, сложенные *Betula fusca*, занимают около 85% всей лесопокрытой площади полигона, четко приурочены к склонам северной, северо-западной и северо-восточной экспозиции, избегают сухих южных склонов, избыточно увлажненных ложбин стока и горных вершин. Наличие зарослей этой березы указывает на достаточно холодные, переувлажные почвы. В зависимости от условий конкретного экотопа береза формирует заросли различной густоты, где ее проективное покрытие колеблется между 10 и 87%, составляя в среднем 59%. Средняя высота *Betula fusca*, по результатам измерений на 16 пробных площадях, равна 1.41 м, а средний диаметр кроны – 1.19 м. Величина надземной фитомассы весьма различается в зависимости от количества особей на единицу площади и их размеров: от 15.8 до 170.0 ц/га; среднее значение – 90.1 ц/га (табл. 5). Иногда к березе примешивается лиственница или осина; под пологом или на прогалинах разрастается ива, курильский чай, шиповник, спирея. *Betula platyphylla* встречается здесь существенно реже, образуя островки почти моновидовых низкорослых древостоев среди зарослей *Betula fusca*.

Ерники разнотравно-осоково-злаковые из *Betula fusca* с примесью лиственницы встречаются повсюду на пологих склонах северных экспозиций. Лиственницы растут единично, их максимальный возраст до 80 лет, валежника и пней нет. Высота деревьев до 12 (15) м, диаметр ствола 20 (47) см. Повреждений деревьев не зафиксировано. Есть группы подроста 15-20 лет. В некоторых фитоценозах без развитого мохово-лишайникового яруса обнаружен самосев лиственницы в количестве до 23 экз. на 1 м^2. В то же время береза возобновляется плохо, почти не отмечены молодые особи, в ценопопуляциях доминируют старые генеративные и субсенильные особи, стволы повреждены ксилотрофными грибами.

Кустарники *Betula fusca* занимают от 20 до 80% площади некрутых дренированных склонов, образуя труднопроходимые заросли. Нередко березе сопутствует *Salix glauca* с проективным покрытием 10%, а также *Dasiphora fruticosa* (1.0%), *Rosa acicularis* (0.5%), *Spiraea media* (15%), *Cotoneaster melanocarpus* (0.5-3%).

Проективное покрытие травяного яруса здесь может достигать 90%, но в среднем составляет около 60%. Мохово-лишайниковый ярус невыражен или фрагментарен. Как и в лиственничных лесах этого ключевого участка, основу травостоя составляет *Carex pediformis* (5-10%). Из лесного флористического комплекса (светлохвойно-лесных видов) встречаются: *Elymus sibiricus, Poa sibirica, Trisetum sibiricum, Bromopsis sibirica*. Из окружающих степных сообществ успешно внедряются степные и лесостепные виды: *Agrostis trinii, Helictotrichon schellianum, Carex korshinskyi, Carex duriuscula, Vicia cracca, Vicia amoena, Campanula glomerata, Adenophora stenanthina, Polygala sibirica, Gentiana decumbens, Linaria buriatica*. На высокогорный мерзлотный характер почв под ерниками указывает наличие криофитного *Kobresia myosuroides* (до 10% проективного покрытия).

На относительно пологих верхнетранзитных частях склонов выше лесного пояса превалирует злаково-разнотравная ерниковая растительность, нередко формирующая смешанные сообщества из *Betula fusca* со значительным участием *Salix glauca*. Кустарники по высоте ранжируются: *Betula fusca* 1.2-1.5 м и *Salix glauca* 30-40 см; они занимают до 60% площади некрутых дренированных склонов в условиях замедленного таяния снега. Поверхность слабо бугристая, на почве присутствуют зеленые мхи (до 1%), на камнях растут накипные лишайники (до 1%). Задернение почвы доходит до 90%, обильный опад листвы и ветошь образуют слой до 1 см толщиной.

Таблица 5. Основные таксационные показатели сообществ, сложенных *Betula fusca*.
Table 5. Main taxacation indices of the communities, formed by *Betula fusca*.

Точка №, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	Сообщество	Средняя высота, м	Средний диаметр кроны, м	Проективное покрытие, %	Количество экземпляров на 1 га	Надземная фитомасса, ц/га
ЮИ-1 (30), 47° 36' 21,2" с.ш., 107° 22' 11,4" в.д., 1832 м	Березняк густой в средней части полого склона западной экспозиции	1.45	1.39	67	3900	78.6
ЮИ-2 (30А), 47° 36' 21 с.ш., 107° 22' в.д., 1828 м	Березняк разреженный в нижней части полого склона западной экспозиции	1.46	1.36	29	1800	36.5
ЮИ-3 (Z7), 47° 36' 29.5" с.ш., 107° 21' 33.7" в.д., 1819 м	Березняк густой в средней части полого (4-5°) склона северо-восточной экспозиции	1.39	0.92	64	8800	170.0
ЮИ-4, 47° 36' с.ш., 107° 21' в.д., 1799 м	Березняк разреженный в нижней части полого склона северо-западной экспозиции	1.10	0.89	22	3100	47.4
ЮИ-5 (36А), 47° 37' 08.2" с.ш., 107° 21' 13.5" в.д., 1786 м	Березняк ниже лиственничника, средняя часть крутого склона северной экспозиции	2.02	1.59	87	4200	117.9
ЮИ-6 (36В), 47° 37' 12.2" с.ш., 107° 20' 57.4" в.д., 1778 м	Березняк возле просеки в нижней выположенной части склона северной экспозиции	1.64	1.39	86	5100	116.3
ЮИ-7 (Z28), 47° 37' 01.8" с.ш., 107° 20' 29.9" в.д., 1839 м	Осинник в нижней выположенной части склона северной экспозиции	Береза 1.79	1.45	69	3600	89.6
		Осина 5.15	0.09 (ствол)	-	1000	-

Продолжение таблицы 5.

Точка №, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	Сообщество	Средняя высота, м	Средний диаметр кроны, м	Проек-тивное покрытие, %	Коли-чество экзем-пляров на 1 га	Надзем-ная фито-масса, ц/га
ЮИ-8, 47° 37' 03.3" с.ш., 107° 20' 44.2" в.д., 1807 м	Березняк с подростом лиственницы в нижней выполо-женной части склона северной экспозиции	Береза 1.29	0.89	40	4500	80.7
		Листвен-ница 3.35	0.05 (ствол)	-	2200	-
ЮИ-9 (41), 47° 37' 27.4" с.ш., 107° 20' 28.6" в.д., 1872 м	Березняк на крутом склоне северной экспозиции	1.04	1.20	85	5200	75.2
ЮИ-10 (42), 47° 37' 28.7" с.ш., 107° 20' 28.5" в.д., 1852 м	Березняк густой в нижней пологой части склона северной экспозиции в циркообразной западине	1.50	1.20	71	6000	125.1
ЮИ-11, 47° 37' с.ш., 107° 20' в.д., ≈ 1880 м	Березняк разре-женный в верхней части склона цирковой западины северной экспозиции над лагерем	0.90	0.87	38	5800	72.6
ЮИ-12, 47° 37' 14" с.ш., 107° 20' 00" в.д., ≈ 1870 м	Густой березняк верхней части крутого склона цирковой западины северо-восточной экспозиции	*Betula fusca* 1.26	1.11	10	900	15.8
		Betula platyphylla 2.15	1.82	94	3300	98.6
ЮИ-13, 47° 37' 16" с.ш., 107° 19' 55" в.д., ≈ 1850 м	Густой березняк в верхней части пологого склона цирковой западины северо-восточной экспозиции	1.69	1.44	71	4200	98.7
ЮИ-14, 47° 37' 17" с.ш., 107° 19' 54" в.д., ≈ 1845 м	Засыхающий бере-зняк на плоском участке мегасклона цирковой западины северной экспозиции	1.32	1.11	63	6100	111.9

Продолжение таблицы 5.

Точка №, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	Сообщество	Средняя высота, м	Средний диаметр кроны, м	Проек-тивное покрытие, %	Коли-чество экзем-пляров на 1 га	Надзем-ная фито-масса, ц/га
ЮИ-15, 47° 37' 29.3" с.ш., 107° 20' 34.5" в.д., 1859 м	Березняк с лиственницей в привершинной части склона северной экспозиции в циркообразной западине	1.20	1.01	31	3300	55.0
ЮИ-16, 47° 37' 17.6" с.ш., 107° 20' 14.8" в.д., 1874 м	Березняк в средней пологой части склона восточной экспозиции (3°) в циркообразной западине	1.52	1.23	85	6700	141.6

Общее проективное покрытие травяного яруса достигает 75%. На склонах юго-восточной экспозиции крутизной 5-7 градусов сложились благоприятные температурные условия для закрепления теплолюбивой травяной степной и лесостепной растительности. Из злаков здесь отмечены: *Festuca lenensis, F. rubra, Koeleria criatata* subsp. *mongolica, Stipa sibirica, Poa subfastagiata, P. botryoides*; из разнотравья: *Vicia cracca, Galium verum, Aster alpinus, Artemisia laciniata, Adenophora tricuspidata.* Однако на мерзлотный характер почвенных условий ерников, хотя и мозаичного типа, указывает незначительное присутствие *Kobresia filiformis* (2%). Немногочисленны представители лесного флористического комплекса: *Lathyrus humilis, Trifolium lupinaster, Valeriana alternifolia, Galium boreale* и другие.

По бортам и пологим днищам ложбин стока встречаются ерники ивняковые разнотравно-осоковые с участием *Dasiphora fruticosa*. Из общего ряда ерников выделяется сообщество, в котором густые заросли низких кустарников перемежаются с осоковыми бедноразнотравными луговинами с застойным режимом увлажнения. Преобладают осоки и злаки: *Carex enervis* (30%), *C. melanantha* (5%), *Poa pratensis* (15%), *P. subfastigiata* (5%), *Stipa sibirica* (3%). Из немногочисленного разнотравья встречаются: *Sanguisorba officinalis, Trifolium lupinaster, Valeriana alternifolia, Geranium pratense, Bistorta viviparum.*

Хозяйственная ценность ерников невелика, но их значение как стабилизатора экологических условий на территориях, подобных полигону «Налайх», несомненно, заслуживает очень высокой оценки.

Рассмотрим распределение почвенно-растительного покрова по территории полигона и его приуроченность к геоморфологическим элементам и генетическим типам отложений с целью выявить экосистемы, подходящие для лесоразведения. Сразу могут быть исключены скальные выходы и степные сообщества с темно-каштановыми почвами на крутых или пологих поверхностях из-за дефицита влаги. Непригодны для лесоразведения и горные богаторазнотравные луга субальпийского типа, которые хорошо увлажнены, но где саженцы лесных культур не выдержат конкуренции с пышным разнотравьем. Очевидно, что места для посадок леса нужно искать там, где он еще сохранился, или сохранились надежные признаки того, что лес здесь был в недавнем прошлом. Такие местообитания на полигоне есть: прежде

всего, это экосистемы, связанные с курумами.

Обзор начнем с крутых (20-25°) склонов северной экспозиции, где произрастают довольно густые лиственничники с подлеском из лесных кустарников и злаково-разнотравно-осоковым травостоем на дерново-лесных среднесуглинистых каменистых почвах, или разреженные лиственничники с ерником разнотравно-осоковым на дерново-лесных сильно каменистых почвах. Сюда же, видимо, относятся и крутые склоны с зарослями *Betula fusca* на сильнокаменистых перегнойных темногумусовых почвах в южной части полигона. Здесь лиственница встречается лишь местами.

От крутых склонов отходят курумные шлейфы, покрытые зарослями *Betula fusca* с примесью кустарниковой ивы и разнотравно-злаковыми травостоями на перегнойно-темногумусных почвах. Местами включается подрост лиственницы и отдельные генеративные особи. В средней части шлейфа среди зарослей березки встречаются участки разреженного лиственничника без подлеска, с травяно-злаковым разнотравьем на дерново-лесных среднесуглинистых каменистых оторфованных почвах и лиственнично-осинового разнотравного леса на суглинистых оторфованных щебнистых почвах. Предполагается, что заросли из *Betula fusca* – это вторичные сообщества, возникшие на месте вырубленных лесов. С точки зрения лесоразведения это не является принципиальным, а важно здесь лишь то, что условия для произрастания леса здесь сохраняются, о чем свидетельствует довольно многочисленный подрост из лиственницы среди зарослей березки на курумном шлейфе северо-восточной экспозиции. На этом же шлейфе также были отмечены отдельные участки редкостойного лиственничника.

Леса и особенно заросли березки с примесью кустарниковой ивы эффективно регулируют режим влажности почвы. Зимой, во время снегопадов, которые обычно сопровождаются сильным ветром, снегонесущий ветровой поток, проходя над лесом, а тем более над зарослями кустарниковой березки высотой 1.5-2.5 м, сильно тормозится. Поэтому сугробы здесь местами превышают 1 м, а в лиственничнике они значительно ниже или вообще отсутствуют. В результате образуются большие запасы влаги, которые весной насыщают почву. Значительно добавляет влагу в почве также и таяние сезонной мерзлоты. Водонасыщенное состояние почвы, когда уровень верховодки в почвах под зарослями березки в середине июля 2014 и 2015 гг. был на глубине 25 см и менее, а в редкостойном лиственничнике – 40 см, может продолжаться до конца июля-августа (табл. 6). В других экосистемах ничего подобного не отмечалось.

Оценивая условия верхнего пояса полигона «Налайх» с высотами 1700-2000 м, можно сделать вывод о том, что лиственничные леса и заросли *Betula fusca* занимают единственно возможную для них экологическую нишу, не встречая при этом серьезной конкуренции со стороны лугово-степной и горно-луговой растительности. Это крутые, средней крутизны и пологие шлейфы с курумным крупноглыбовым материалом северных экспозиций; это отходящие от них каменистые курумные шлейфы, где для травяной степной и луговой растительности довольно некомфортно.

И пока курумные шлейфы обладают каменистостью, на них произрастают заросли с преобладанием березки и с присутствием лиственницы в виде отдельных особей, или участков редкостойного леса с лесными почвами. Но как только глыбовый материал покрывается слоем суглинков так, чтобы почти перестали выступать на поверхность камни, заросли березки могут смениться богаторазнотравными лугами субальпийского типа.

По сути дела, глыбовые курумники, начиная с крутых и средней крутизны склонов, где они зарождаются, и заканчивая пологим шлейфом с уклонами 2-3°, где глыбы уже почти не выступают на поверхность из-под суглинистого материала, представляют собой не только литогенетический тип курумных солифлюкционных отложений, но также являются цельной и единой нуклеарной экосистемой.

Таблица 6. Естественная влагообеспеченность и запасы почвенной влаги на ключевом участке «Налайх» (по данным полевых работ 2014 и 2015 гг.). **Таблица 6.** Natural water availability and soil moisture reserve on the index spot “Nalaikh” (according to the researches made during 2014-2015).

Индекс почвенного разреза, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	**Название растительного сообщества и почвенного профиля**	**Глубина проб, см**	**Максимальная гигроскопичность, %**	**Естественная влажность, %**	**Влажность завядания, %**	**Общий запас влаги, мм**	**Мертвый запас влаги, мм**	**Продуктивный запас влаги, мм**	**Объемный вес (δ), г/см^2**	**Удельный вес (γ), г/см^2**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
N-30, 47° 36' 21.1" с.ш., 107° 22' 11.4" в.д., 1832 м	**NA**-*Betula fusca.* Заросли березки и кустарниковой ивы с мезофитным луговым напочвенным покровом. Почва суглинистая перегнойно-темно-гумусная сильно-каменистая	0-10	6.00	95.60	8.00	86.00	7.20	78.80	0.90	2.00
		10-20	5.50	97.00	7.40	87.30	6.70	80.60	0.90	2.20
		20-30	4.80	31.00	6.40	37.70	7.70	30.00	1.20	2.50
						Σ 211.0	*Σ 21.6*	*Σ 189.4*		
		30-40	3.80	35.10	5.10	45.30	6.60	38.70	1.30	2.60
		40-50	3.50	33.70	4.70	47.20	6.60	40.60	1.40	2.60
						Σ 303.50	*Σ 34.80*	*Σ 268,7*		
N-37, 47° 37' 11.8" с.ш., 107° 20' 58.6" в.д., 1765 м		0-10	6.00	95.30	8.00	85.80	7.20	78.60	0.90	2.00
		10-20	5.50	70.70	7.40	63.60	6.70	56.90	0.90	2.20
		20-30	4.80	51.90	6.40	53.10	7.70	45.40	1.20	2.50
						Σ 202.5	*Σ 21.6*	*Σ 180.9*		
		30-40	3.80	27.20	5.10	35.40	6.60	28.80	1.30	2.60
		40-50	3.50	21.70	4.70	30.80	6.60	24.20	1.40	2.60
						Σ 268.70	*Σ 34.80*	*Σ 233.90*		

Продолжение таблицы 6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N-42, 47° 37' 28.7" с.ш., 107°20' 28.5" в.д., 1852 м	**NA**-*Betula fusca*. Заросли березки и кустарниковой ивы с мезофитным луговым напочвенным покровом. Почва суглинистая перегнойно-темно-гумусная сильно-каменистая	0-10	6.00	76.20	8.00	68.60	7.20	61.40	0.90	2.00
		10-20	5.50	58.30	7.40	52.50	6.70	45.80	0.90	2.20
		20-30	4.80	45.50	6.40	54.60	7.70	46.90	1.20	2.50
						Σ 175.7	*Σ 21.6*	*Σ 154.1*		
		30-40	3.80	37.60	5.10	48.90	6.60	42.30	1.30	2.60
		40-50	3.50	27.60	4.70	38.60	6.60	32.00	1.40	2.60
						Σ 263.20	*Σ 34.80*	*Σ 228.40*		
NB, 47° 36' 21.1" с.ш., 107° 22' 59.8" в.д., 1818 м	Разреженный травяной лиственничник на дерново-лесных среднесуглинистых сильнокаменистых почвах	0-10	9.00	84.40	12.10	42.20	3.00	39.20	0.50	2.00
		10-20	5.00	36.00	6.70	43.20	8.00	35.20	1.20	2.20
		20-30	4.40	21.50	5.90	25.80	7.10	18.70	1.20	2.50
						Σ 111.2	*Σ 18.1*	*Σ 93.1*		
		30-40	3.50	15.90	4.70	20.70	6.10	14.60	1.30	2.60
		40-50	3.00	17.90	4.00	25.00	5.60	19.40	1.40	2.60
						Σ 156.90	*Σ 29.80*	*Σ 127.10*		
N-10, 47° 37' 12.6" с.ш., 107° 21' 07.2" в.д., 1776 м	Злаковый стоповидноосоковый разнотравно-копеечниковый луг. Почва горно-луговая среднесуглинистая темногумусная каменистая	0-10	6.00	66.60	8.00	66.60	8.00	58.60	1.00	2.00
		10-20	5.50	39.60	7.40	47.50	8.90	38.60	1.20	2.20
		20-30	5.00	35.10	6.70	42.10	8.00	34.10	1.20	2.50
						Σ 156.2	*Σ 24.9*	*Σ 131.3*		
		30-40	3.50	23.80	4.70	30.90	6.10	24.80	1.30	2.60
		40-50	3.50	21.50	4.70	30.10	6.10	24.00	1.40	2.60
						Σ 217.20	*Σ 37.10*	*Σ 180.10*		

Продолжение таблицы 6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N-11, 47° 37' 15.9" с.ш., 107° 20' 59.0" в.д. 1761 м	Злаково-разнотравно-копеечниковый луг. Почва горно-луговая тяжелосуглинистая темногумусная каменистая	0-10	7.00	49.70	9.40	49.70	9.40	40.30	1.00	2.00
		10-20	7.00	37.70	9.40	45.20	11.30	33.90	1.20	2.20
		20-30	6.00	33.30	8.00	40.00	9.60	30.40	1.20	2.50
						Σ 134.9	*Σ 30.3*	*Σ 104.6*		
		30-40	5.50	31.90	7.40	38.30	8.90	29.40	1.20	2.60
		40-50	4.80	24.80	6.40	34.70	9.00	25.70	1.40	2.60
						Σ 207.90	*Σ 48.20*	*Σ 159.70*		
N-13, 47°37'24.4" с.ш., 107°20'52.5" в.д., 1824 м	Разнотравно-полынно-злаковая горная степь. Почва темно-каштановая легкосуглинистая сильнокаменистая	0-10	3.50	25.00	4.70	25.00	4.70	20.30	1.00	2.00
		10-20	3.50	23.30	4.70	28.00	5.60	22.40	1.20	2.20
		20-30	3.00	17.10	4.00	20.50	4.80	15.70	1.20	2.50
						Σ 79.5	*Σ 15.1*	*Σ 58.4*		
		30-40	3.00	13.70	4.00	17.80	5.20	12.60	1.20	2.60
		40-50	3.00	9.70	4.00	13.60	5.60	8.00	1.40	2.60
						Σ 104.90	*Σ 25.90*	*Σ 79.00*		
N-19, 47°38'43.4" с.ш., 107°21'29.0" в.д., 1805 м	Разнотравно-злаковая степь. Почва темно-каштановая легкосуглинисто-супесчаная сильнокаменистая	0-10	3.50	28.20	4.70	28.20	4.70	23.50	1.00	2.00
		10-20	3.50	28.60	5.60	28.60	5.60	23.00	1.20	2.20
		20-30	3.00	19.40	4.80	19.40	4.80	14.60	1.20	2.40
						Σ 76.2	*Σ 15.1*	*Σ 61.1*		
		30-40	3.00	17.80	5.20	17.80	5.20	12.60	1.30	2.50
		40-50	3.00	17.80	5.60	17.80	5.60	12.20	1.30	2.60
						Σ 111.80	*Σ 25.90*	*Σ 85.90*		

Они обладают единым происхождением, до недавнего времени однонаправленным механическим движением вещества и энергии. И сейчас они характеризуются последовательной сменой растительных сообществ сверху вниз, а также поверхностным и подземным стоком в том же направлении, как это показано на рисунке 1.

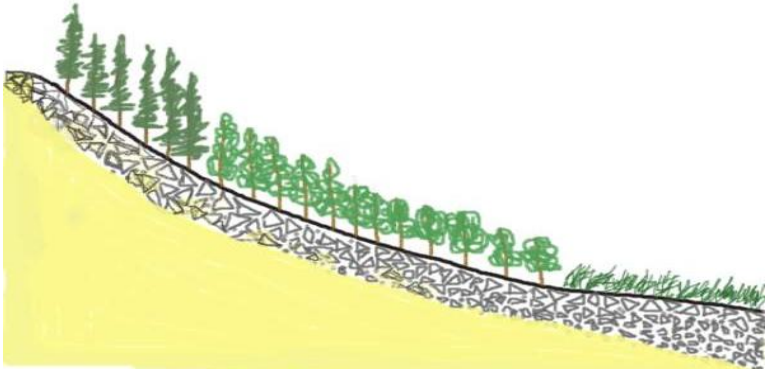


Рис. 1. Нуклеарная схема экосистем курумов на полигоне «Налайх». **Fig. 1.** Nuclear scheme of the rock glacier ecosystems on the “Nalaikh”.

В настоящее время процесс дальнейшего развития структурно-морфологических частей, приуроченных к циркообразным западинам, террасовидным уступам и пологим шлейфам с густым ерниковым покровом и богаторазнотравными лугами связан с ежегодной метелевой концентрацией и последующим формированием избыточного увлажнения деятельного слоя почвогрунтов и коренных пород. В большинстве случаев с тыльной стороны циркообразные западины ограничиваются обрывистыми уступами из кристаллических пород. Накапливающийся ниже уступа дисперсный материал при промерзании нижней части почвенных разрезов препятствует проникновению талых вод в трещины коренного ложа, что способствует поверхностному стоку в прилегающие растительные сообщества и насыщению влагой верхней толщи почв. В связи с этим во всех приграничных с ерниковыми зарослями экотопах развиты злаково-разнотравные луга, обладающие богатым флористическим разнообразием (35-45 видов), значительным общим проективным покрытием (75% и более) и высокими показателями надземной фитомассы (15-30 ц/га).

Результаты дешифрирования космических снимков и наземных исследований позволили установить ореолы влияния ерниковых зарослей и богаторазнотравных лугов на прилегающие экотопы. Оказалось, что их протяженность, в зависимости от уклона местности, может достигать нескольких десятков и даже сотен метров. Геоботанические описания показали, что из 199 видов сосудистых растений, встречающихся в ландшафтных комплексах модельного полигона, 44 вида представляют лесную флору и являются доминантами, субдоминантами или характерными видами в 19 разновидностях ассоциаций. При этом, хотя и в незначительном количестве (3-6 видов), они представлены и в типично степных и болотных сообществах.

Анализ пространственной структуры морфологических частей и характеристик основных компонентов экосистем в лесостепном среднегорном ландшафте модельного полигона «Налайх» позволил выявить диагностические признаки факторов, способствующих и, наоборот, препятствующих восстановлению древесного яруса лиственничных и лиственнично-мелколиственных растительных сообществ и определить перечень экосистем, сохранивших до настоящего времени такой потенциал или его потерявших.

К прямым признакам, препятствующим возобновлению лиственницы сибирской, следует отнести самые высокие значения влажности поверхностных почвогрунтов, близкие к полному насыщению влагой. Влажность в таких местообитаниях, к которым приурочены

кустарниковые сообщества из *Betula fusca*, достигает 76-97%, а запас продуктивной влаги достигает своих максимальных значений и колеблется в почвенном профиле от поверхности до глубины 50 см в пределах 228-268 мм (разрезы N-30, N-37 и N-42; табл. 6).

Косвенными признаками неблагоприятных условий для восстановления бореальных, в данном случае лиственничных лесов могут считаться: геоморфологические (обширные полого-наклонные шлейфы, прилегающие к крутым склонам северной экспозиции, нагорные террасовидные уступы и западины, приуроченные к циркообразным формам мезорельефа); почвенные (преобладание перегнойно-темногумусовых среднесуглинистых сильноскелетных почв); геоботанические (широкое развитие кустарниковых сообществ, сформированных лесными и опушечными видами: *Betula fusca, Rosa acicularis, Spiraea media,* при 70-100% проективного покрытия и 70-180 ц/га надземной фитомассы в березняках с большим участием представителей лесной флоры).

Наиболее благоприятные условия для восстановления лиственницы сибирской складываются, по нашему мнению, в экосистемах злаково-разнотравных и разнотравных лугов, где естественная влажность в почвенном профиле держится на среднем уровне (35-66%), а запас продуктивной влаги в период максимального развития луговой растительности колеблется от 159 до 180 мм (разрезы N-10, N-11; табл. 6). На участке с лиственничным лесом (разрез NB) запас продуктивной влаги близок к значениям влагозапаса в почвах под луговыми и лугово-степными сообществами и равен 127 мм.

Для сравнения приводятся значения естественной влажности для темно-каштановых почв под степной растительностью, занимающей крутые и пологие склоны южных и близких к южным (ЮЮЗ и ЮЮВ) экспозиций (разрезы N-13, N-19), которые относятся к типично степным сообществам. Как видно из таблицы 6, влажность здесь минимальная, ее значения не превышают 25-30%, и, соответственно, запас продуктивной влаги незначителен – он не превышает в почвенном профиле 85 мм (Бажа и др., 2016).

Выявленные диагностические показатели позволяют вполне обоснованно говорить о сильном сокращении к настоящему времени лесорастительных условий, соответствующих требованиям лиственницы. Расчет площадей экосистем с такими условиями показывает, что в целом для ключевого участка территории с потенциальными условиями для естественного возобновления этой породы уменьшились на 50-60% именно вследствие повышенной (высокой и очень высокой) влажности почвогрунтов (рис. 2).

Конкурентные взаимоотношения древесных и кустарниковых видов как фактор смены лесных сообществ кустарниковыми

К настоящему времени достаточно изученным вопросом замедления и даже полного исключения восстановительных процессов хвойных лесов, сложенных сосной и лиственницей, является вопрос о конкуренции со стороны травяного покрова, вызывающей остепнение лесных экотопов. В то же время остается практически неисследованной роль кустарниковых видов в постлесных сукцессиях. Наибольшая сложность при этом определяется формированием кустарникового яруса из видов, относящихся к другим типам растительности: степному, пойменно-луговому и даже пустынно-степному. В итоге, как показали наши исследования, образуются сложные сообщества, состоящие из ярусов с разными экологическими требованиями к изменяющимся условиям природной среды. Таковыми для нас послужили сосновые леса с пятилистником (*Pinus sylvestris–Dasiphora fruticosa*) на ключевом участке «Шарын-Гол»; сосновые леса с абрикосом сибирским (*Pinus sylvestris–Armeniaca sibirica*) на ключевом участке «Шамар» и лиственничные леса с караганой Бунге (*Larix sibirica–Caragana bungei*) на ключевом участке «Тосонцэнгэл». Ниже в последовательном порядке излагаются результаты наших исследований.

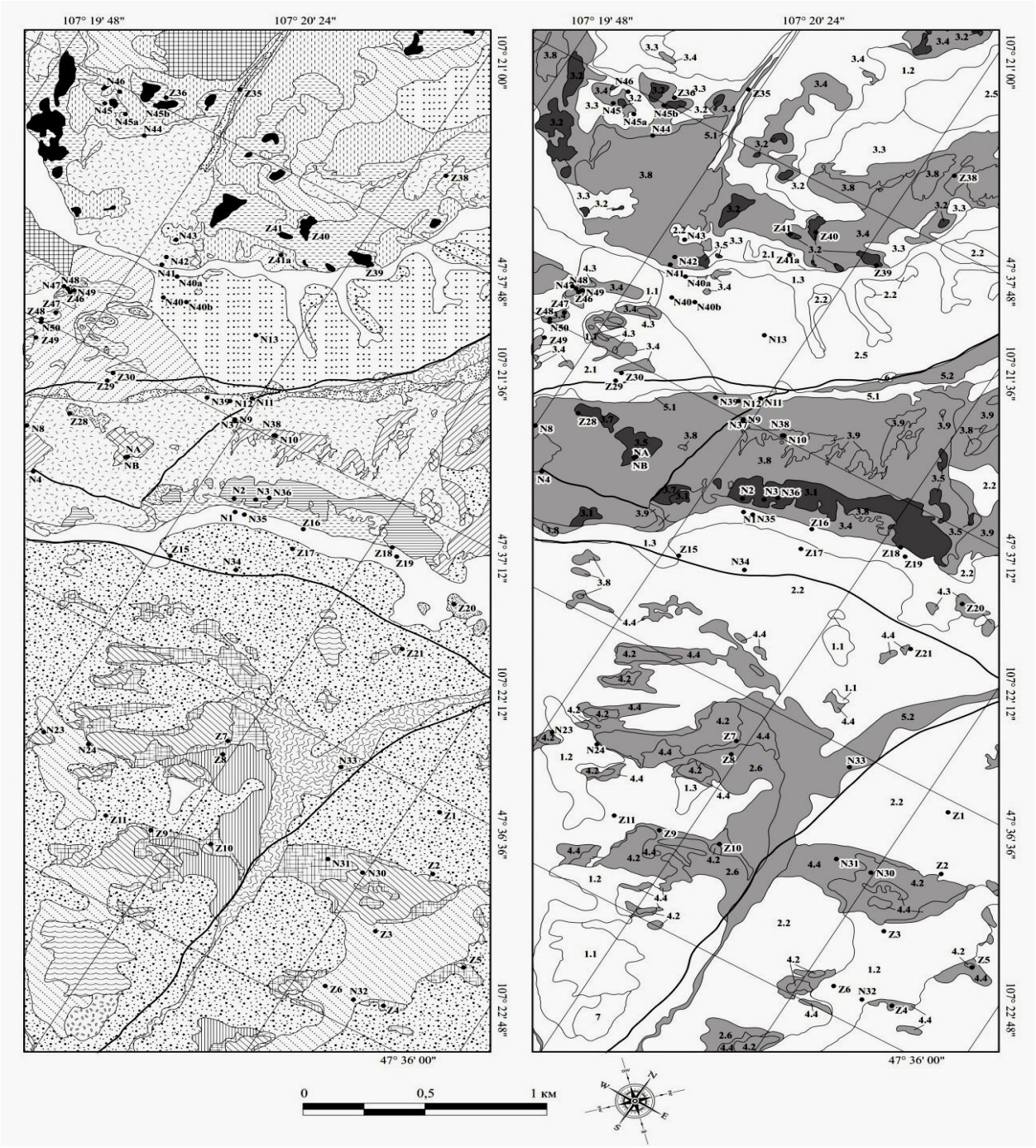


Рис. 2. Экосистемы ландшафтно-экологической трансекты (слева) и участки, практически потерявшие потенциал для лесовосстановления (справа) на модельном полигоне «Налайх». *Условные обозначения:* жирные линии – грунтовые дороги; 2, 3 – индексы экосистем; Zxx, Nxx – точки геоботанических описаний, закладки шурфов и отбора почвенных образцов; темно-серые контуры – участки с лиственничниками; светло-серые контуры – потенциально малопригодные участки для восстановления лесных сообществ из *Larix sibirica*.

Fig. 2. Ecosystems of the ladscape-ecological transect (on the left) and the areas with almost gone potential for the reforestation (on the right) on the model ground «Nalaikh». *Legend*: bold lines – dirt roads; 2, 3 – ecosystems indices; Z xx, N xx – areas of geobotanical descriptions, pits and soil samples; dark-gray– the existing areas with larch forests; light-gray – the areas, potentially of little use, for the reforestation of the communities, formed by *Larix sibirica*.

Особенности конкурентных взаимоотношений сосны обыкновенной (Pinus sylvestris) и пятилистника (Dasiphora fruticosa). Растительность ключевого участка «Шарын-Гол» представлена сочетанием лесных, степных и луговых сообществ. Леса занимают водораздельные части отрогов хребтов горной системы Западного Хэнтэя, части наветренных склонов северной и восточной экспозиций склонов. Нижняя граница пролегает по высотам 1032 м, верхний предел зарегистрирован на высоте 1085 м. Тип представлен двумя классами формаций: мелколиственной и светлохвойно-лесной.

Мелколиственные леса (без *Dasiphora fruticosa*). Лесные сообщества, в которых не был зарегистрирован *Dasiphora fruticosa*, относятся только к классу формаций мелколиственных лесов, формации березовых лесов, группе ассоциаций березняки осоковые. Ассоциация лес березовый злаково-осоковый бедноразнотравный формируется в нижнетранзитных частях крутых склонов на высоте 1032 м. Задернение 35-40%. На поверхности слабо развиты зеленые мхи (0.5%). Высота *Betula platyphylla* 8 м, диаметр ствола 12 см, высота прикрепления крон 2 м, сомкнутость 0.6. На стволах березы видны следы низового пожара малой интенсивности, нижние побеги деревьев и кустарников сильно объедены скотом. Комлевые части деревьев частично обнажены. Имеется березовый подрост высотой 5-10 см, возобновление хорошее, но по мере взросления полностью съедается скотом, молодых деревьев нет. Подлесок слабо сомкнут: *Cotoneaster melanocarpus* (1%), *Spiraea media* (2%), *Rosa acicularis* (0.1%). В целом в условиях интенсивного выпаса скота, популяции березы и кустарников имеют тенденцию к преобладанию старых генеративных и сенильных особей.

Общее проективное покрытие травяного яруса 14%. Преобладают средние и мелкие особи. Господствуют *Carex pediformis* (5%), *Poa pratensis* (2%), *Phlomoides tuberosa* (1%), *Thalictrum foetidum* (1%). Представители лесного флористического комплекса немногочисленны: *Fragaria orientalis* (1%), *Rubus saxatilis* (0.5%), *Agrimonia pilosa* (0.5%), *Scorzonera radiata* (0.1%), *Sanguisorba officinalis* (0.1%). Степных видов немного больше: *Thalictrum foetidum* (1%), *Phlomoides tuberosa* (1%), *Papaver nudicaile* (0.5%), *Potentilla tanacetifolia* (0.1%), *Polygonatum odoratum* (0.2%), *Medicago falcata* (0.1%).

Сосновые леса (с *Dasiphora fruticosa*; фото 6). Сосновые леса включают две ассоциации: сосняки разнотравно-крыловоковыльные и сосняки ирисово-разнотравные. Имеют более или менее выраженный ярус лесных и степных кустарников. Кустарник *Dasiphora fruticosa* является мезофильным элементом светлохвойно-лесной флоры, имеющим голарктический ареал, регулярно отмечается в описываемых лесах. В травяном ярусе постоянны *Agrostis trinii* (0.5-15%) и *Carex pediformis* (1.5-20%), а из степного разнотравья обычны *Potentilla tanacetifolia* (0.1-0.5%), *Galium verum* (0.5-1%), *Thalictrum foetidum* (0.7-2%), *Stellera chamaejasme* (0.1-0.5%).

Сосняки разнотравно-крыловоковыльные приурочены к ложбинам склонов крутизной 15° верхнетранзитных частей и к склонам северо-восточной экспозиции на высотах 1041-1059 м. Общее проективное покрытие травяного яруса от 20 до 50%, задернение 30%, опад мощностью 0.5 см. Древостой сформирован деревьями со средней высотой 8-10 м и диаметром ствола 15-18 см. Высота прикрепления кроны 2-3 м, расстояние между деревьями около 5 м, сомкнутость 0.3-0.7. По обгоревшим нижним частям стволов диагностирован пожар средней интенсивности (ориентировочно 3-5-летней давности). Возобновления сосны нет. В кустарниковом ярусе представлены *Dasiphora fruticosa* (0.1-25%), *Spiraea media* (5%), *S. aquilegifolia* (0.3%), *Ribes diacantha* (0.1%), *Caragana pygmaea* (0.5%); их распределение неравномерно. В травяном ярусе доминирует ксерофит *Stipa krylovii* (1-5%), мелкодерновинные злаки не так обильны: *Koeleria cristata* ssp. *mongolica* (0.1-0.2%), *K. cristata* (0.2%), *Cleistogenes squarrosa* (0.1%). Разнотравье хорошо представлено степными ксерофитами: *Schizonepeta multifida* (0.5%), *Leontopodium campestre* (0.1-0.2%), *Bupleurum scorzonerifolium* (0.1-0.2%), *Senecio integrifolius* (0.1-0.2%), *Allium vodopjanovae*

(0.1%), *Sedum aizoon* (0.5%), *Oxytropis strobilacea* (0.2%), *Stemmacantha uniflora* (0.1%), *Youngia tenuifolia* (0.1%).

а)

б)

Фото 6. Заросли пятилистника *Dasiphora fruticosa* (а) и естественные сосновые леса (б) ключевого участка «Шарын-Гол». **Photo 6.** Bushes of *Dasiphora fruticosa* (a) and natural pine forests (б) of the index spot «Sharyngol».

Сосняки ирисово-разнотравные отмечены на высоте 1069-1085 м на водораздельной части межгорного увала и в верхнетранзитной части восточных склонов. Они входят в состав заповедной территории на местном уровне, о чем сообщается на информационных щитах при въезде, однако, в этих сосняках осуществляется выпас скота. Задернение не более 50%. Средняя высота деревьев 16 м, средний диаметр ствола 20-25 см. Высота прикрепления кроны 3-4 м, расстояние между деревьями 2 м. Хорошо развит подрост высотой 4-8 м с диаметром ствола 5-9 см, возрастом около 20 лет. Обнаружен многочисленный самосев сосны. Отмечено проникновение *Dasiphora fruticosa* (0.1-6%), *Cotoneaster melanocarpus* (0.4%), *Caragana pygmaea* (0.5%). Тем не менее, увлажненность в приземном слое благоприятна для произрастания зеленых мхов: *Polytrichum* sp. (0.5%), *Rhytidium* sp. (20%), другие виды без спорогониев (5%). Моховой покров в хорошем состоянии.

Общее проективное покрытие травяного яруса – около 13%. В травяном ярусе к диагностическим видам можно отнести представителей лесного флористического комплекса: *Iris ruthenica* (0.2-1.5%), *Viola brachyceras* (0.1-0.5%), *Scorzonera radiata* (0.1-0.2%), *Valeriana transjenisensis* (0.1%). Обнаружен паразитический *Hypopitys monotropa* (0.1-0.2%), поселяющийся на корнях хвойных деревьев, предпочитающий влажные светлохвойные леса. Реже встречаются лесостепные виды (по 0.1% каждый): *Astragalus membranaceus*, *Pulsatilla turczaninovii*, горностепные: *Crysanthemum zawadskii*, *Dianthus versicolor*. Сообщества испытывают незначительное антропогенное воздействие, об этом свидетельствует нахождение *Erodium stephanianum* (0.1%) и *Potentilla acaulis* (0.2%).

Леса на ключевом участке сложены всего лишь двумя породами: сосной и березой. Их возраст оценивается приблизительно в 30 лет. Встречаются сосны и старшего возраста, порядка 50 лет. Их количество в древостое не превышает 7-10%. Эти деревья резко выделяются своими большими размерами и на первый взгляд производят впечатление довольно старых, но подсчет годичных колец на пнях указывает на их полувековой возраст. С подобным явлением нам приходилось сталкиваться в целом ряде лесных массивов лесостепной зоны Монголии: некоторое количество сосен или лиственниц заселяют экотоп на 20-25 лет ранее основной массы деревьев, и их габитус формируется в условиях значительно большей разреженности, вследствие чего они выглядят перестойными, хотя по лесохозяйственной классификации являются спелыми. Есть основания думать, что более молодая генерация деревьев той же породы является потомством этих первопоселенцев. Характерно отсутствие старых пней.

Как правило, сосновые насаждения имеют III класс бонитета, изредка более высокий. Полнота весьма различна, от 1.0 (редко) до 0.3, и в среднем составляет 0.7-0.8. Средние высоты деревьев на разных пробных площадях колеблются в пределах от 8 до 22 м, а средние диаметры – от 9 до 24 см (табл. 7).

Лишь на одной из пробных площадей, заложенных на полигоне, было отмечено естественное возобновление сосны в количестве около 360 экз./га, но даже этого совершенно недостаточно для нормальной смены поколений деревьев.

Березняки на участке «Шарын-Гол» менее часты и занимают небольшие площади. Кустовое расположение деревьев ясно указывает на их послепожарное возобновление. Береза растет по II бонитету, формирует насаждения полнотой 0.7-0.9. Ее древостои имеют среднюю высоту от 10 до 17-18 м при среднем диаметре 14 см (табл. 7).

Исследованные нами лесные массивы нарушены в разной степени. В северо-восточной части полигона произрастает хорошо сохранившийся сосновый лес, в котором не были обнаружены следы пожара и отсутствуют рубки. Другие участки леса подвергались воздействию низовых пожаров. Местами отмечены выборочные рубки, и практически повсеместно в лесах осуществляется выпас скота.

Таблица 7. Таксационные характеристики насаждений ключевого участка «Шарын-Гол». **Table 7.** Taxation feautures of the planting on the index spot «Sharyngol».

Точка №, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	Положение в рельефе	Растительное сообщество	Древес-ная порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Возраст, лет	Бонитет	Полнота	Кол-во на 1 га, экз.	Подрост	Подлесок	Состояние
ШГ-1, 49° 16' 38.1" с.ш., 106° 25' 01.1" в.д., 1041 м	Средняя часть склона ССЗ экспозиции	Сосняк осоково-разнотравный с курильским разреженный	Сосна	8	18	25	III	0.3	364	–	*Dasiphora fruticosa* (25-30%)	–
ШГ-2, 49° 16' 50" с.ш., 106° 25' 25.23" в.д., 1059 м	Верхняя часть склона С экспозиции, около 7°	Сосняк злаково-разнотравный	Сосна	14	17	30 (отдельные сосны, около 45)	III	0.6-0.7	1075	Нет	*Dasiphora fruticosa* редко	Слабо нарушен; выпас, рубки, следы давнего низового пожара
ШГ-3, 49° 16' 51.4" с.ш., 106° 25' 23.1" в.д., 1032 м	Средняя, ближе к вершине часть склона СЗ экспозиции, около 10°	Березняк злаково-разнотравный	Береза плоско-листная	17-18	14	30	II	0.7	1150	Нет	*Dasiphora fruticosa* в «окнах»	Слабо нарушен; выпас
ШГ-4, 49° 16' 50.5" с.ш., 106° 25' 15.5" в.д., 1029 м	Средняя часть склона С экспозиции, 14-15°	Среднеполнот-ный сосняк с немного-численными крупными соснами	Сосна	11	21	27	III	0.6	1020	–	–	–
ШГ-5, 49° 16' 51.6" с.ш., 106° 25' 19.3" в.д., 1056 м	Средняя часть склона С экспозиции, 14-15°	Высокоствольный березняк	Береза плоско-листная	10	14			0.8-0.9	2400	–	–	–
			Сосна	13	24	33	III		160	–	–	–

Продолжение таблицы 7.

Точка №, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	Положение в рельефе	Растительное сообщество	Древесная порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Возраст, лет	Бонитет	Полнота	Кол-во экз. на 1 га	Подрост	Подлесок	Состояние
ШГ-9, 49° 16' 24.6" с.ш., 106° 28' 21.7" в.д., 1058 м	Склон С экспозиции 12°	Сосняк мертвопокровный с участками сосняка травяного	Сосна	10	17	29	III	0.8	1160	Сосна 360 экз./га	*Dasiphora fruticosa*	–
ШГ-16а, 49° 17' 06.1" с.ш., 106° 26' 46.6" в.д., 1081 м	Привершинная часть склона С экспозиции, 2-3°	Сосняк злаково-разнотравный	Сосна	18-20	13	Разновозрастный, в среднем 30-35 (отдельные 50)	II	0.8	1175	Нет	*Cotoneaster melanocarpa* единично, *Dasiphora fruitcosa* редко	Почти не нарушен; выпас, следов огня нет
ШГ-16, 49° 17' 05.5" с.ш., 106° 26' 49.7" в.д.	Привершинная часть склона ЮВ экспозиции, 5-7°	Сосняк мертвопокровный	Сосна	15	9	30	II	0.9-1	4900	Нет	*Dasiphora fruticosa* единично	Почти не нарушен; выпас, следов огня нет
ШГ-15, 49° 17' 04.5" с.ш., 106° 26' 42.5" в.д.	Выположенная верхняя часть хребта	Сосняк зеленомошный	Сосна	8+22	23	2 поколения: около 30 и около 50	I	0.5-0.6	550	Нет	*Cotoneaster melanocarpa*, *Dasiphora fruticosa* редко, *Caragana* sp. единично	Почти не нарушен; выпас, младшее поколение угнетено

Одной из особенностей постлесных сукцессий на полигоне «Шарын-Гол» является обильное разрастание в лесных экотопах курильского чая (*Dasiphora fruticosa*). В благоприятных местах его проективное покрытие достигает 40-45%, а надземная фитомасса порой превышает 12 ц/га (табл. 8).

Это достаточно светолюбивый мезофитный кустарник, по существу являющийся индикатором пригодности местообитаний для произрастания леса. Обычно он произрастает по опушкам и в «окнах» древостоя, а в случае изреживания насаждений в силу тех или иных причин (в данном случае это, в первую очередь, вызванные человеком пожары, рубки и выпас скота) он начинает проникать под полог леса, где, активно разрастаясь, создает конкуренцию для подроста. Подобная ситуация регистрировалась нами неоднократно не только на ключевом участке «Шарын-Гол», но и в лесостепных ландшафтах других регионов в бассейне Байкала. Негативной стороной значительного распространения *Dasiphora fruticosa* является то, что, создавая густые моновидовые сообщества, этот кустарник может заглушать всходы и молодой подрост сосны.

Гораздо реже в подлеске встречается кизильник черноплодный (*Cotoneaster melanocarpa*), шиповник иглистый (*Rosa acicularis*) и карагана карликовая (*Caragana pygmaea*). Эти виды накапливают незначительную фитомассу и, по-видимому, не играют существенной роли в сукцессионных процессах.

По итогам наших лесотаксационных и геоботанических работ на полигоне «Шарын-Гол» мы можем заключить, что в настоящее время произрастающие здесь сосновые леса практически не самовозобновляются. Несмотря на удовлетворительное и местами хорошее состояние, они изреживаются в силу антропогенных причин и имеют тенденцию к сокращению площадей, занятых ими совсем недавно. В березняках также прослеживается тенденция к распаду, усиливаемая интенсивным выпасом. При сохранении в будущем наблюдаемых ныне трендов лесные сообщества полигона могут полностью смениться кустарниковыми, сложенными курильским чаем. Однако искусственное возобновление леса здесь возможно и обещает быть успешным.

Разумеется, места для посадки леса нужно искать там, где он уже есть или где имеются признаки, указывающие на возможность его произрастания. Одним из таких признаков как раз и являются заросли курильского чая (*Dasiphora fruticosa*) высотой 0.3-0.4 м, которые более или менее выраженным поясом отделяют лес от степи и занимают подгорные полого-наклонные шлейфы, некогда занятые лиственничными и сосновыми лесами.

При анализе пространственного распределения естественной влажности почвогрунтов (табл. 9) в растительных сообществах ключевого участка «Шарын-Гол» оказалось, что значения естественной влажности здесь значительно ниже, чем на ключевом участке «Налайх», и варьируют в коротком интервале (от 2 до 14.5%). В то же время, учитывая специфику водно-физических свойств, а именно супесчаный гранулометрический состав с незначительной максимальной гигроскопичностью (от 3 до 6%), зарегистрированная влажность была достаточной и четко дифференцировалась на три группы. Наибольшей влажностью (за исключением горизонта промачивания мощностью 0-10 см) отличаются сообщества курильского чая, где ее значения колеблются от 4.0 до 14.5%, а определенные запасы продуктивной влаги в почвенных профилях до глубины 70 см также были выше, чем в других сообществах и достигали 94.3 мм (ШГ-7, ШГ-9, ШГ-14; табл. 9).

Средний уровень влажности был зарегистрирован в сообществах сосновых лесов, где она колебалась на уровне 2.0-8.0% (при одном максимальном уровне в 14.0%).

Продуктивный запас влаги был достаточно ровный во всех типах сосновых лесов, и его значения варьировали незначительно: от 28.6 до 38.3%. Наконец, наихудшими условиями увлажнения отличались разнотравно-злаковые и полынно-злаковые сильно деградированные горные степи, расположенные на склонах и шлейфах различной крутизны.

Таблица 8. Фитоценотические показатели курильского чая (*Dasiphora fruticosa*) на ключевом участке «Шарын-Гол». **Table 8.** Phytocoenotic indices of *Dasiphora fruticosa* on the index spot “Sharyngol”.

Точка №, название сообщества, географические координаты, высота в м н.у.м. БС	**Высота, см**	**Численность, экз.**	**Проективное покрытие**		**Надземная фитомасса**		**Фенофаза**
			%	**% от общего**	**г/м^2**	**% от общей**	
ШГ-1 (склон СВВ, уклон 11°, сообщество с *Dasiphora fruticosa*), 49° 16' 50.0" с.ш., 106° 25' 24.3" в.д., 1041 м	35	1	2	5.2	12.4	8.2	цв.
ШГ-3 (склон СВ, 20°, березняк (*Betula platyphilla*) с сильно выбитым травяным покровом), 49° 16' 52.8" с.ш., 106° 25 '23.0" в.д., 1024 м	35	1	0.3	2.8	1.1	6.3	цв.
1 а (привершинная часть склона ЮЗ, уклон 10°, сообщество со сгущением *Dasiphora fruticosa* и *Artemisia gmelinii*), 49° 16' 57.5" с.ш., 106° 26' 16.6" в.д., 1082 м	16	4	6	13.5	18.3	14.8	цв.
1 б (привершинная часть склона ЮЗ, уклон 10°, между сгущениями), 49° 16' 57.5" с.ш., 106° 26' 16.6" в.д., 1082 м	13	130	2	8.4	9.5	13.3	цв.
ШГ-6 (склон СЗ, 15°, сосновый лес), 49° 16' 43.8" с.ш., 106° 25' 10.3" в.д., 1041 м	33	2	7	17.6	24.7	30.8	цв.
ШГ-7 (склон СЗЗ, 8°, луговое сообщество), 49° 16' 46.0" с.ш., 106° 25' 06.2" в.д., 1013 м	30	2	5.5	10.9	57	28.7	цв.
ШГ-8 (склон СЗЗ, 15°, степное сообщество), 49° 16' 46.7" с.ш., 106° 25' 13.6" в.д., 1045 м	21	1	1.5	3.6	8.6	9.8	цв.
ШГ-9 (склон СВ, опушка), 49° 16' 46.2" с.ш., 106° 25' 23.8" в.д. 1047 м	35	42	20	48.9	76.6	60.9	цв.
ШГ-14 (восточный склон 15°, средняя часть), 49° 17' 06.3" с.ш., 106° 27' 01.4" в.д., 997 м	21	11	25	44.2	120.3	71.9	цв.
ШГ-15 (СЗ склон 10°, зеленомошный сосновый лес с подростом сосны), 49° 17' 04.8" с.ш., 106° 26' 42.6" в.д., 1069 м	24	5	4	48.2	6.5	57.5	цв.

Таблица 9. Естественная влагообеспеченность и запасы почвенной влаги на ключевом участке «Шарын-Гол» (по данным полевых работ в июле-августе 2014-2015 гг.). **Table 9.** Natural water availability and soil moisture reserve on the index spot “Sharyngol” (according to the researches made during July-August in 2014-2015).

Индекс почвенного разреза	Географические координаты, высота в м н.у.м. БС, название растительного сообщества и почв	Интервал глубин опробования, см	Максимальная гигроскопичность, %	Естественная влажность, %	Влажность завядания, %	Общий запас влаги, мм	Мертвый запас влаги, мм	Продуктивный запас влаги, мм	Объемный вес (δ), г/см^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ШГ-3	49° 16' 51.4" с.ш., 106° 25' 23.1" в.д., 1032 м, горный склон 20° северной экспо-зиции, сосновый лес, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	11.40	5.40	13.70	6.50	7.20	1.20
		10-20	3.00	7.70	4.00	9.20	5.20	4.00	1.20
		20-30	3.00	8.00	4.00	10.40	5.20	5.20	1.30
						Σ 33.3	*Σ 16.9*	*Σ 16.4*	
		30-40	3.00	7.80	4.00	10.10	5.20	4.90	1.30
		40-50	3.00	7.00	4.00	9.10	5.20	3.90	1.30
		50-60	4.00	6.50	5.40	9.10	6.80	2.30	1.40
						Σ 61.6	*Σ 34.1*	*Σ 27.5*	
		60-70	6.00	8.80	8.00	12.30	11.20	1.10	1.40
						Σ 73.90	*Σ 45.30*	*Σ 28.60*	
ШГ-6	49° 16' 43.6" с.ш., 106° 25' 10.8" в.д., 1041 м, горный склон 21°, сосновый лес редкостойный с зелеными мхами, осокой и курильским чаем, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	26.80	5.40	32.20	6.50	25.70	1.20
		10-20	3.00	6.60	4.00	7.90	4.80	3.10	1.20
		20-30	3.00	6.00	4.00	7.80	5.20	2.60	1.30
						Σ 47.9	*Σ 16.6*	*Σ 31.4*	
		30-40	5.00	8.30	6.70	10.80	8.70	2.10	1.30
		40-50	5.00	8.10	6.70	11.30	9.40	1.90	1.30
		50-60	5.00	5.20	6.70	7.30	9.40	-2.10	1.40
						Σ 77.3	*Σ 44.0*	*Σ 33.3*	
		60-70	4.00	2.20	5.40	3.10	7.60	-4.50	1.40
						Σ 80.40	*Σ 51.60*	*Σ 28.80*	

Продолжение таблицы 9.

Индекс почвен-ного разреза	Географические координаты, высота в м н.у.м. БС, название растительного сообщества и почв	Интервал глубин опробова-ния, см	Максимальная гигроско-пичность, %	Естествен-ная влажность, %	Влажность завядания, %	Общий запас влаги, мм	Мертвый запас влаги, мм	Продуктивный запас влаги, мм	Объемный вес (δ), г/см^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ШГ-16	49°12'05.3" с.ш., 106°26'48.8" в.д., 1085 м, молодой сосняк на приводораздельной части восточного склона, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	6.00	5.40	16.80	6.50	10.30	1.20
		10-20	3.00	7.40	4.00	11.00	4.80	6.20	1.20
		20-30	2.00	6.20	2.70	11.40	5.20	6.20	1.30
						Σ 39.2	*Σ 16.6*	*Σ 22.7*	
		30-40	2.00	8.00	2.70	11.80	5.20	6.60	1.30
		40-50	2.00	14.40	2.70	14.60	5.60	9.00	1.40
						Σ 65.6	*Σ 27.3*	*Σ 38.3*	
ШГ-7	49°16'55.6"с.ш., 106°24'59.3" в.д., 976 м, СЗ горный склон, уклон 14°, луговина с курильским чаем ниже границы соснового леса, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	19.20	5.40	23.00	6.50	16.50	1.20
		10-20	3.00	8.00	4.00	9.60	4.80	4.80	1.20
		20-30	3.00	7.70	4.00	9.20	4.80	4.40	1.20
						Σ 41.8	*Σ 16.1*	*Σ 25.7*	
		30-40	3.00	6.70	4.00	8.70	5.20	3.50	1.30
		40-50	4.00	6.20	5.40	8.10	7.00	1.10	1.30
		50-60	5.00	9.10	6.70	11.80	8.70	3.10	1.30
		60-70	5.00	8.10	6.70	11.30	9.40	1.90	1.40
		70-80	5.00	9.80	6.70	13.70	9.40	4.30	1.40
		80-90	5.00	11.90	6.70	16.70	9.40	7.30	1.40
						Σ 112.10	*Σ 65.20*	*Σ 46.90*	

Продолжение таблицы 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ШГ-9	49°16'46.2" с.ш., 106°25'11.7" в.д., h = 1047 м Средняя часть СВ склона, уклон 14°. Заросли курильского чая. Почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	15.30	5.70	18.40	6.80	11.60	1.20
		10-20	3.00	10.20	4.00	13.30	5.20	8.10	1.30
		20-30	3.00	9.50	4.00	12.40	5.20	7.20	1.30
						Σ 44.1	*Σ 17.2*	*Σ 26.9*	
		30-40	3.00	8.20	4.00	10.70	5.20	5.50	1.30
		40-50	3.00	8.00	4.00	11.20	5.60	5.60	1.30
		50-60	3.00	8.00	4.00	11.20	5.60	5.60	1.40
						Σ 77.2	*Σ 33.6*	*Σ 43.6*	
		60-70	3.00	9.40	4.00	13.20	5.60	7.60	1.40
		70-80	2.00	11.50	2.70	16.10	3.80	12.30	1.40
		80-90	2.00	11.30	2.70	17.00	4.00	13.00	1.50
		90-100	2.00	14.50	2.70	21.80	4.00	17.80	1.50
						Σ 145.3	*Σ 51.0*	*Σ 94.3*	
ШГ-14	49°17'06.2" с.ш., 106°27'01.5" в.д., 997 м, восточный горный склон, 17°; раросли курильского чая, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	3.00	12.80	5.70	15.40	6.80	8.60	1.20
		10-20	3.00	4.30	4.00	5.20	4.80	0.40	1.20
		20-30	3.00	4.00	4.00	5.20	5.20	0.00	1.30
						Σ 25.8	*Σ 16.8*	*Σ 9.0*	
		30-40	3.00	4.40	4.00	5.70	5.20	0.50	1.30
		40-50	3.00	6.20	4.00	8.10	5.20	2.90	1.30
		50-60	3.00	7.70	4.00	10.00	5.20	4.80	1.30
						Σ 49.6	*Σ 32.4*	*Σ 17.2*	
		60-70	3.00	9.90	2.70	12.90	5.20	7.70	1.30
		70-80	2.00	10.60	2.70	13.60	5.20	8.40	1.30
		80-90	2.00	10.30	2.70	14.40	3.80	10.60	1.40
		90-100	1.00	11.30	1.30	15.80	1.80	14.00	1.40
						Σ 106.30	*Σ 48.40*	*Σ 57.90*	

Продолжение таблицы 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ШГ-1	49°16'50.0" с.ш., 106°25'24.3" в.д., 1038 м, СВ горный склон, уклон 12°, злаково-осочковая степь с курильским чаем, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	6.20	5.70	7.40	6.80	0.60	1.20
		10-20	3.00	5.70	4.00	6.80	4.80	2.00	1.20
		20-30	3.00	6.20	4.00	7.40	4.80	2.60	1.30
						Σ 21.6	*Σ 16.4*	*Σ 5.2*	
		30-40	3.00	8.00	4.00	10.40	5.20	5.20	1.30
		40-50	4.00	11.20	5.70	14.60	7.40	7.20	1.30
		50-60	4.00	8.20	5.70	10.70	7.40	3.30	1.30
						Σ 57.3	*Σ 36.4*	*Σ 20.9*	
		60-70	4.00	2.20	5.70	3.10	8.00	-4.90	1.40
						Σ 60.40	*Σ 44.40*	*Σ 16.00*	
ШГ-5	49°16'46.2" с.ш., 106°22'35.4" в.д., 993 м, подгорный шлейф, уклон 5°, осочково-полынная степь, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	3.80	5.70	4.60	6.20	-1.60	1.20
		10-20	3.00	8.80	4.00	10.60	4.80	5.80	1.20
		20-30	3.00	4.70	4.00	5.60	4.80	0.80	1.30
						Σ 20.8	*Σ 15.8*	*Σ 5.0*	
		30-40	6.00	4.70	8.00	6.10	10.40	-4.30	1.30
		40-50	6.00	9.50	8.00	12.40	10.40	2.00	1.30
		50-60	6.00	7.60	8.00	9.90	10.40	-0.50	1.30
						Σ 49.2	*Σ 47.0*	*Σ 2.2*	
		60-70	6.00	9.30	8.00	12.10	10.40	1.70	1.30
		70-80	6.00	13.50	8.00	17.60	10.40	7.20	1.30
						Σ 78.90	*Σ 67.80*	*Σ 11.10*	
ШГ-11	49°16'55.6" с.ш., 106°24'59.3" в.д., 976 м, ЮЮВ горный склон, уклон 17°,	0-10	4.00	13.10	5.70	15.70	6.80	8.90	1.20
		10-20	2.00	4.40	2.70	5.30	3.20	2.10	1.20
		20-30	6.00	4.00	8.00	5.20	10.40	-5.20	1.20
						Σ 26.2	*Σ 20.4*	*Σ 5.8*	
		30-40	6.00	4.30	8.00	5.60	10.40	-4.90	1.30
		40-50	6.00	6.50	8.00	8.40	10.40	-2.00	1.30

Продолжение таблицы 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ШГ-11	горная степь, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	50-60	6.00	7.80	8.00	10.10	10.40	-0.30	1.30
						Σ 50.3	*Σ 51.6*	*Σ -1.4*	
		60-70	6.00	9.90	8.00	12.90	10.40	2.50	1.30
		70-80	6.00	10.60	8.00	13.80	10.40	3.40	1.30
		80-90	6.00	10.40	8.00	13.50	10.40	3.10	1.30
		90-100	6.00	11.20	8.00	14.60	10.40	4.20	1.30
						Σ 105.10	*Σ 93.20*	*Σ 11.80*	
ШГ-13	49° 17' 07.9" с.ш., 106° 27' 08.1" в.д., 964 м, горный склон В экспозиции, уклон 17°, дегрессивный вариант горной степи, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	3.00	5.10	4.00	6.10	4.80	1.30	1.20
		10-20	3.00	4.20	4.00	5.50	5.20	0.30	1.20
		20-30	3.00	3.90	4.00	5.10	5.20	-0.10	1.20
						Σ 16.7	*Σ 15.2*	*Σ 1.5*	
		30-40	3.00	13.90	4.00	18.10	5.20	12.90	1.30
		40-50	3.00	3.80	4.00	4.90	5.20	-0.30	1.30
		50-60	3.00	4.80	4.00	6.20	5.20	1.00	1.30
						Σ 45.9	*Σ 30.8*	*Σ 15.1*	
		60-70	3.00	2.80	4.00	3.60	5.20	-1.60	1.30
						Σ 49.50	*Σ 51.00*	*Σ 13.50*	
ШГ-18	49°16'55.6" с.ш., 106°24'59.7" в.д., 976 м, ССЗ подгорный шлейф, уклон 4.5°, полынно-злаковая степь, почва темно-каштановая супесчаная со щебнем	0-10	4.00	7.10	5.70	8.50	6.80	1.70	1.20
		10-20	3.00	5.70	4.00	6.80	4.80	2.00	1.20
		20-30	3.00	5.50	4.00	7.10	5.20	1.90	1.20
						Σ 22.4	*Σ 16.8*	*Σ 5.6*	
		30-40	3.00	5.10	4.00	6.60	5.20	1.40	1.30
		40-50	3.00	6.00	4.00	7.80	5.20	2.60	1.30
		50-60	3.00	5.70	4.00	7.40	5.20	2.20	1.30
						Σ 44.2	*Σ 32.4*	*Σ 11.8*	
		60-70	3.00	5.40	4.00	7.00	5.20	1.80	1.30
		70-80	3.00	4.90	4.00	6.40	5.20	1.20	1.30
						Σ 57.60	*Σ 42.80*	*Σ 14.80*	

В этих условиях значения естественной влажности составляли 2-8% при максимальной величине 13.1%. Рассчитанные запасы продуктивной влаги также оказались наименьшими во всех исследованных почвенных разрезах (ШГ-1, ШГ-5, ШГ-11, ШГ-13, ШГ-18; табл. 9) и колебались от 4.1 до 16.0%.

Из таблицы 9 следует, что, во всяком случае, перспективнее всего производить посадки сосны в зарослях курильского чая, а не в луговой или полынно-злаковой степи. Этот кустарник является опушечным видом, оконтуривающим лесные массивы, и в данном случае характеризует постлесное сообщество на лесном экотопе сосновых лесов.

Оценивая условия низкогорно-шлейфового ландшафта ключевого участка Шарын-Гол для лесоразведения, мы приходим к выводу, что наиболее подходящей экологической нишей для саженцев сосны являются верхние и средние части склонов и водораздельные поверхности с неглубоким (не более 1.0 м) почвенным профилем супесчаного состава со щебнем на склонах северной экспозиции с зарослями курильского чая или разреженной луговой степью. Именно здесь молодые саженцы сосны будут защищены от конкуренции с травяной растительностью за питательные вещества и влагу и в то же время – от высоких температур и прямых солнечных лучей.

По мере выполаживания поверхности, увеличения мощности и дисперсности почвы условия для произрастания сосны ухудшаются: растет максимальная гигроскопичность, а с ней и процент недоступной влаги, что в условиях семиаридного климата может оказаться фатальным для саженцев. Кроме того, усиливается действие прямых солнечных лучей и увеличивается опасность перегрева и ожога саженцев. Поэтому делювиальные шлейфы северной и южной экспозиции практически не имеют лесных массивов.

С целью снижения конкуренции со стороны активно разрастающегося кустарника *Dasiphora fruticosa* и с учетом достаточно высокого уровня накопленного влагозапаса при восстановлении соснового леса необходимы особые мероприятия по разреживанию кустарниковых зарослей и групповая посадка саженцев.

Особенности конкурентных взаимоотношений сосны обыкновенной (Pinus sylvestris), абрикоса сибирского (Armeniaca sibirica) и миндаля черешкового (Amygdalus pedunculata). Ключевой участок «Шамар» может быть представлен в качестве примера смены лесных экосистем кустарниковыми зарослями из нескольких видов (фото 7).

Этот процесс во многом обязан человеческому вмешательству: неконтролируемым рубкам и лесным пожарам, как правило, возникающим по вине человека. Растительность ключевого участка «Шамар» представлена сочетанием лесных, кустарниковых и степных сообществ. Лесной пояс имеет наибольшую ширину, его нижний предел начинается от 625 м, а верхний заканчивается на высотах 926 м и выше. Лесной тип растительности представлен двумя классами формаций: светлохвойными и мелколиственными лесами. В свою очередь, светлохвойные леса представлены только сосновой формацией. Мелколиственные леса представлены ильмовой и осиновой формациями. Приведенная классификация сообществ избирательна по наличию реликта третичного возраста – *Armeniaca sibirica.* Вначале рассматриваются сообщества без этого вида, далее – с ним.

Сосновые леса (без абрикоса). Формация представлена двумя группами ассоциаций: остепненными редкостойными сосняками и остепненными сосняками с участием мелколиственных пород: *Ulmus pumila* и *Betula platyphylla*. Доминирующими видами формации, часто встречающимися в разных сообществах синтаксона, являются: *Poa attenuata, Stipa krylovii, Bromopsis inermis, Carex pediformis, Carex korshinskyi, Lespedeza juncea, Vicia amoena, Pulsatilla turczaninovii, Thalictrum squarrosum, Bupleurum scorzonerifolium, Galium verum, Veronica incana, Schizonepeta multifida, Sanguisorba officinalis, Potentilla tanacetifolia, Hemerocallis minor, Polygonatum odoratum, Leontopodium campestre* и другие.

а)

б)

Фото 7. Самовозобновляющийся сосновый лес (а) и сосновый лес в стадии распада и смены кустарниковыми сообществами (б) на ключевом участке «Шамар». **Photo 7.** Everlasting pine forest (a) and degrading pine forest, replacing by shrub communities (б) on the index spot «Shamar».

Сосняки остепненные с участием мелколиственных пород (*Betula platyphylla*, *Ulmus pumila*). Группа ассоциаций приурочена в основном к эоловым формам рельефа, пологоувалистым равнинам, высоким террасам р. Орхон и охватывает две ассоциации: сосняки с примесью *Ulmus pumila* и вторичные мелколиственные леса из *Betula platyphylla* на месте коренных сосновых лесов.

Сосняки с примесью *Ulmus pumila*. Эта ассоциация ниже всех спускается в долину по эоловым формам рельефа (615-625 м), реже поднимается на высокие террасы (725 м) или на межувалистые котловины выдувания (701 м). Сосны довольно молодые, средняя высота 7-8 м, диаметр до 20 см, слабо сомкнутые 0.2. *Ulmus pumila* высотой до 3 м, сомкнутость 0.2. Отмечены небольшие куртины *Rosa dahurica* (0.5-2%) и *Ribes diacantha* (0.3-10%). Оголенный грунт занимает до 30%, что усугубляется интенсивным выпасом. Общее проективное покрытие травяного яруса в среднем составляет 15%. Степной компонент несет облик настоящих сухих ковыльных степей. К индикаторным видам относятся *Halenia corniculata* (0.1-0.2%), *Achillea asiatica* (0.3%), *Erigeron acer* (0.2%), *Ixeridium chinense* (0.1%), *Scorzonera radiata* (0.5%).

Сосняки остепненные редкостойные включают одну ассоциацию редкостойных сосняков с подлеском из *Rosa dahurica*. Приурочены к эоловым формам рельефа, высоким коренным берегам р. Орхон, днищам межувалистой котловины выдувания древних эоловых форм на высотах 676-745 м. Сомкнутость крон 0.3 (0.6), средняя высота 20 м, диаметр ствола около 40 см, возраст 70 (100) лет. Недостаточное увлажнение формирует особый пространственный тип размещения деревьев – редкостойный (саванноидный). Из кустарников произрастает только низкорослая *Rosa dahurica* (0.5-2%). Общее проективное покрытие травяного яруса 34-54%. Злаки встречаются нерегулярно: *Poa stepposa* (2%), *Elytrigia repens* (0.5%), *Koeleria cristata* (1%). Обычны осоки: *Carex pediformis* (0.5-10%), *Carex korshinskyi* (2-5%). К блоку диагностических видов можно отнести: *Halenia corniculata* (0.1-0.2%), *Achillea asiatica* (0.3%), *Erigeron acer* (0.2%), *Ixeridium chinense* (0.1%), *Scorzonera radiata* (0.5%).

Вторичные мелколиственные леса из Betula platyphylla на месте коренных сосновых лесов. С поднятием на высокие террасы, примыкающие к отрогам хребтов, меняется состав как сосновых лесов, так и их производных. Они формируются на высотах 707-758 м и характеризуются более мезофитным обликом. Появляются злаки *Calamagrostis epigeios* (0.5%) и *Spodiopogon sibiricus* (0.5-1%), заметную роль играет осока стоповидная (3-8%), а преобладание типичных ксерофитов становится не таким явным. Ядро индикаторных видов составляют: *Lathyrus humilis* (3-12%), *Viola gmeliniana* (0.1-0.3%), *Trifolium lupinaster* (0.1-1.5%), *Vicia unijuga* (0.2-2%), *Chamaenerion angustifolium* (0.5%). Общее проективное покрытие травяного яруса 35-76%, задернение около 75%. На почве встречаются зеленые мхи (до 3%). Можно предположить, что эти леса представляют собой сплошную мозаику пирогенной сукцессии разного возраста. Участие березы (*Betula platyphylla*) может подниматься до 80%, и она вместе с *Populus tremula* полностью замещает сосну. Сосны имеют высоту 12 (20) м, диаметр ствола 16 (28) см, возраст около 40 лет. Сосна здесь хорошо возобновляется после пожаров (серия пожаров в 1980-х, 1990-х гг., последний произошел около 20 лет назад), отмечен подрост высотой до 3-4 м в возрасте около 15 лет. Береза образует слабо сомкнутый второй древесный ярус высотой 5 м при диаметре ствола 5-8 см. В слабо сомкнутом пологе встречается *Salix bebbiana* (1-5%). В подлеске могут присутствовать *Ulmus pumila* (0.5-4%), *Rosa dahurica* (0.5-2%), *Ribes diacantha* (2%).

Мелколиственные леса. Формация осиновых лесов включает одноименную группу ассоциаций и одну ассоциацию – осинники редкопокровные. Осинники являются самостоятельным компонентом растительного покрова изучаемой территории и встречаются в узко локализованных местах – в нижнетранзитных частях северных наветренных склонов на седловинах отрогов хребта Дуланхан на высотах 920-930 м.

Древостой составляют молодые экземпляры мелколиственных *Populus tremula* (85%) и *Betula platyphylla* (10%). Максимальная высота многоствольных особей березы достигает 5 м, диаметр 10 см, возраст не более 40 лет. Стволы осины диаметром 4-5 см едва достигают 3-4 (5) м высоты, однако сомкнутость высокая 0.8; рассеянное освещение неблагоприятно сказывается на подлеске (*Salix bebbiana, Rosa acicularis*) и травяном ярусе, который слабо выражен (общее проективное покрытие около 4%). Основу последнего составляют специфические *Carex lanceolata* (1%), *Rubia cordifolia* (0.1%) и обычные для лесов *Phlomoides tuberosa* (0.5%) и *Vicia unijuga* (1.5%).

Сосновые леса (с абрикосом). Они занимают нижние части лесного пояса и лесостепи. Формация представлена двумя группами ассоциаций: остепненными редкостойными сосняками и остепненными сосняками с участием *Ulmus pumila*. Под пологом отмечен *Armeniaca sibirica*, участие которого в сложении сообщества велико – от 10 до 55%. Помимо абрикоса изредка встречаются другие кустарники: *Caragana pygmaea* (1%), *Ribes diacantha* (2-10%), *Potentilla fruticosa* (16%).

Сосняки остепненные редкостойные формируют на больших пространствах разнообразные сообщества саванноидного облика на песчаных и супесчаных почвах предгорий отрогов хребта Дуланхан на высотах 767-865 м. Средняя высота деревьев 12 м, диаметр ствола 25 см, сомкнутость крон 0.1, высота прикрепления крон 1.7 м, что свидетельствует о благоприятном световом режиме. Есть следы старого низового пожара. Хорошо сомкнутый полог образует *Armeniaca sibirica* (25-45%), высота этого кустарника 1.5 м (нередко до 2 м), среднее расстояние между экземплярами 2-4 м. Отмечается семенное возобновление абрикоса. Единично отмечены *Caragana pygmaea* (1%), *Ribes diacantha* (2%), *Potentilla fruticosa* (16%). Хотя кустарники формируют опад мощностью около 1.5 см, это не мешает возобновлению сосны. Общее проективное покрытие травяного яруса колеблется от 28 до 70%. Мохово-лишайниковый ярус отсутствует. Характерно наличие плотнодерновинной осоки *Carex pediformis* (3-37%). Красочное разнотравье слагают степные ксерофиты: *Lespedeza juncea, Pulsatilla turczaninovii, Serratula sentauroides, Thalictrum squarrosum, Galium verum, Lilium pumilum, Polygonum divaricatum, Dianthus versicolor* и другие. В целом видовое разнообразие невелико: 19-32 вида на площадь 100 м^2.

Сосняки остепненные с участием Ulmus pumila представлены только одной ассоциацией, приуроченной к южному коренному берегу р. Селенги, сильно расчлененному холмогорью на высоте 735 м. Молодые особи *Pinus sylvestris* растут небольшими группами, кроны их слабо сомкнуты, высота 5-8 м, диаметр ствола 10 (22) см. *Ulmus pumila* не формирует древостой как таковой, молодые особи высотой около 30 см присутствует лишь в травяном ярусе. *Armeniaca sibirica* образует довольно густые заросли с расстоянием между особями 1-2 м. Высота кустарников около 1.3 м, сомкнутость 55%. В сообществе присутствует *Ribes diacantha* (10%). Общее проективное покрытие травяного яруса 40%. К диагностическим видам здесь можно отнести *Cleistogenes squarrosa* (0.5%), также есть другие злаки (*Bromopsis inermis, Agropyron cristatum, Stipa krylovii, Poa attenuata, Stipa sibirica*) и осоки (*Carex pediformis, Carex korshinskyi*). Роль осоки стоповидной значительна (17%). Немного более гумидные условия изменяют и видовой состав трав, где появляются *Polygonatum odoratum* (0.5%), *Rubia cordifolia* (0.2%), *Artemisia palustris* (0.2%) и другие.

Мелколиственные леса (с абрикосом). Ильмовники остепненные распространены по днищам ложбин стока, коренным высоким берегам р. Орхон (749-779 м). Ильмы слабо сомкнуты, одиночные деревья сочетаются с луговой степью и зарослями *Armeniaca sibirica*. Злаки, играющие заметную роль, в основном синантропного характера: *Bromopsis inermis* (3.5-10%) и *Agropyron cristatum* (0.5-2.5%), есть осоки *Carex korshinskyi* (30%) и *C. pediformis* (5%). Среди разнотравья также наблюдаются черты антропогенного пресса:

Agrimonia pilosa (20%), *Thermopsis lanceolata* (5%), *Lappula squarrosa* (3%), *Chamaerhodos erecta* (2.5%), *Potentilla bifurca* (0.2%), *Potentilla multifida* (0.5-4%).

Ильмовники остепненные (без абрикоса). Формация ильмовых лесов включает две ассоциации: ильмовники карагановые и ильмовники оттянутомятликовые. Первые приурочены к полого-увалистым формам рельефа на высоте 624 м на темноокрашенных почвах. Отдельные особи *Ulmus pumila* высотой до 3 м образуют редины. *Caragana microphylla* занимает незначительную площадь (до 8%), высота кустарников до 30 см, редко выше. Общее проективное покрытие травяного яруса 55 (до 80%), задернение около 85%. Из злаков обычны *Agropyron cristatum* и *Stipa sibirica*, из разнотравья: *Artemisia dolosa* (0.5%), *Potentilla multifida* (5%), *Serratula centauroides* (4%). Сообщества подвергаются интенсивному выпасу, поэтому основу травостоя составляют дигрессионные виды, такие как *Potentilla tanacetifolia* (20%), *P. acaulis* (8%), *Thermopsis lanceolata* (5%), *Artemisia scoparia* (5%), *A. frigida* (5%), *Chamaerhodos erecta* (2%), *Lappula squarrosa* (1.5%).

Ильмовники оттянутомятликовые описаны на высоком коренном берегу р. Орхон (709 м). Общее проективное покрытие травяного яруса менее 70%, задернение около 80%. Особи *Ulmus pumila* единичные, древостой не образуют. Индикаторные виды: *Stipa krylovii* (2%), *Poa attenuata* (3%), *Bromopsis inermis* (2%), *Cleistogenes squarrosa* (1%), *Calamagrostis epigeios* (0.2%), *Scutellaria scordiifolia* (0.2%), *Allium senescens* (0.3%), *Lespedeza juncea* (1.5%), *Vicia amoena* (0.5%), *Thalictrum squarrosum* (0.2%), *Bupleurum scorzonerifolium* (2.5%), *Orostachis malacophylla* (0.1%), *Papaver nudicaile* (0.1%), *Artemisia depauperata* (0.5%). В травостое также происходит сбой коренных видов: *Carex duriuscula* (2%), *Potentilla acaulis* (15%), *Polygonum divaricatum* (8%), *Potentilla bifurca* (1.5%).

Сосновые леса, произрастающие на песчаных отложениях боровых террас рек Орхона и Селенги близ их слияния, относятся к высотно-поясному комплексу сосновых и лиственничных подтаежно-лесостепных лесов Хэнтэй-Чикойской лесорастительной провинции (Леса …, 1978), но фактически они располагаются на стыке Хэнтэй-Чикойской и Северо-Восточно-Хангайской провинций. Спускаясь до высот 600-700 м н.у.м., они являются своего рода лесным коридором между Хангайской и Хэнтэйской горными странами. Их ареал достаточно узок. К востоку они переходят в высокобонитетные сосновые леса предгорий хребта Дэлгэр-Хан, а на западе сменяются березняками и осинниками хребта Джаргалант.

Преобладающий тип леса – сосняк ксерофитно-разнотравный на дерновых лесных супесчаных почвах и песках, практически лишенный подлеска, с редким живым напочвенным покровом из *Artemisia gmelinii, A. seicea, A. tanacetifolia, Calamagrostis epigeios, Stipa sibirica, Veronica incana, Leontopodium ochroleucum, Orostachys spinosa* и *O. malacophylla*. В понижениях мезорельефа получает развитие моховой покров, на возвышениях – фрагментарный лишайниковый.

Для древостоев характерна мозаичная пространственная структура: чередование сосновых парцелл, находящихся на разных стадиях возрастного развития. Возобновление практически всегда происходит компактными куртинами, не разрушающимися в течение длительного срока, по существу, до рубок главного пользования, осуществляющихся здесь уже по достижении деревьями диаметра ствола около 25 см. На остепненных террасах представлено сосновое редколесье. По пологим песчаным склонам террасы подрост сосны местами выходит в долину р. Селенги. Возрастная структура сосняков следующая: подрост до смыкания крон – 5%; жердняки – 25%; приспевающие – 40%; разновозрастные – 30%.

Спелые древостои вырублены в последние годы; их фрагменты в настоящее время представляют собой распавшиеся куртины с разновозрастным подростом. По прибровочному повышению правой террасы р. Орхон еще сохраняются отдельные сосны в возрасте около 220-240 лет, среди них имеется дерево, считающееся священным и

привлекающее паломников не только из Монголии, но и из Бурятии.

В связи с особенностями мезорельефа, влияющими на перераспределение и накопление питательных веществ и влаги в почве, бонитет варьирует в очень широких пределах – от I до V, в среднем II. Наблюдаются различные типы роста сосны, обусловленные характером размещения деревьев по площади. Вероятно, старшее поколение сформировалось в условиях заметно большей разреженности, чем последующие под его пологом.

Естественное возобновление сосняков в целом является достаточным для постоянного поддержания лесной среды. Очень мало подроста, либо он отсутствует только в переходной зоне между лесом и степью, где всходы сосны не могут конкурировать с высоким густым травостоем. На песках, где степная растительность не получает распространения, сосна прочно удерживает свои позиции. На вершинах бугров количество подроста составляет около 2600 экз./га, по склонам и ложбинам его численность может возрастать до нескольких десятков тысяч на 1 га. Как правило, подрост благонадежный, дающий прирост осевого побега в среднем до 15.5 см/год. Куртина сомнительного подроста 16-18 лет на следующий год после удаления части затеняющих ее деревьев продемонстрировала прирост 7.6 см/год. На удовлетворительность естественного возобновления этих лесов указывалось и прежде (Леса …, 1980).

Смыкание крон в куртинах происходит очень рано благодаря их сильной густоте. В стадии жердняка еще насчитывается порядка 23000 экз./га, из которых почти 1/5 часть – сухостой. Такие густые куртины с большим количеством отпада очень пожароопасны и кроме того легко могут переводить низовой пожар в верховой. Однако необходимо отметить почти идеальную на фоне окружающих лесов сохранность этих сосняков. В отличие от лесных массивов национального парка «Тужийн нарс», также частично входящих в ключевой участок «Шамар» и часто горевших, эти насаждения практически не затронуты огнем.

К 40 годам запас древесины здесь достигает 180-200 м^3/га, а уже в возрасте 45-50 лет сосняки подвергаются выборочным рубкам, причем вырубается 68.5-73.4% древесины по запасу. При рубках остаются высокие пни до 80-100 см, следовательно, значительная часть деловой древесины теряется. Часть годных в рубку деревьев оставляют. Подрост, как правило, сохраняется, а степень разновозрастности древостоев нередко даже повышается. В противовес пожарам развитие степной растительности или кустарников эти рубки не стимулируют, однако на более сухой левой террасе р. Орхон передвижение лесовозной техники кладет начало эрозионным процессам. Вершины вывозят спустя несколько месяцев после рубок.

К 80-100 годам запас составляет около 460 м^3/га; к тому времени древостои становятся разновозрастными. Одновозрастных парцелл, состоящих из спелых и перестойных насаждений, не зафиксировано. По-видимому, при естественном самоизреживании они разрушаются и заселяются в «окнах» подростом не ранее 50-60-летнего возраста, а их границы размываются.

Вспышек каких-либо патогенов на ключевом участке не выявлено, лишь локально, в местах низовых пожаров, наблюдался черный сосновый усач (*Monochamus galloprovincialis*).

В лесах практикуется выпас скота, в частности коров, негативные последствия которого пока проявляются на ограниченной площади. Рекреационные нагрузки незначительны и узко локализованы. Заметный диссонанс в функционирование лесных фитоценозов вносят стихийные свалки бытового и строительного мусора в количестве 2-4 шт./га. Среди мусора содержится большое количество семян рудеральных растений, в особенности конопли, вследствие чего свалки становятся источником распространения под пологом леса несвойственных ему видов, в том числе весьма агрессивных. По нашим наблюдениям, в сосняках и березняках на северных склонах хребта Дэлгэр-Хан дальнейшему

распространению этих растений способствуют пожары, даже относительно слабые низовые, еще более разбалансирующие экосистемы леса.

В целом можно заключить, что в настоящее время состояние сосновых лесов западной части полигона и ключевого участка «Шамар» близко к удовлетворительному. Характер лесопользования и иные формы влияния человека на лес пока не ведут к необратимым нарушениям лесной среды и не оказывают препятствий его самовозобновлению.

Иное необходимо сказать о лесах восточной части ключевого участка «Шамар», где находится национальный парк «Тужийн нарс». Леса этого нацпарка сложены преимущественно сосной (что отражено и в его названии), однако в результате катастрофического пожара 2002 года древостой был на значительной площади уничтожен огнем. Наши исследования в 2014-2015 гг. показали, что естественного возобновления сосны здесь практически не происходит; вместо этого послепожарные площади активно заселяются березой и в меньшей степени осиной, которыее формируют крайне густые жердняки (табл. 10). Это дает основание предполагать, что в течение ближайших десятилетий, если не произойдет нового пожара, здесь будет существовать большой массив мелколиственного леса.

Наконец, низкогорная и полого-волнистая местность на юго-востоке и юго-западе ключевого участка занята распадающимся сосновым лесом, также горевшим, но здесь помимо разрастания березы и осины фиксируется развитие на значительных территориях абрикосовых зарослей. При этом установлено расширение площадей, занятых разновозрастными сообществами абрикоса.

В низкогорных частях бассейна Селенги, в том числе на ключевом участке «Шамар», климатические условия полугумидные (даже полуаридные), и в растительности контрастно выражена экспозиция склонов. Для северных склонов, как было показано выше, характерны сосновые и лиственничные леса, для южных – степные и горно-степные сообщества. По предварительным данным выявлено, что участки степных и лесостепных кустарниковых сообществ многочисленны и имеют различные размеры, в среднем от 5 до 100 га. Они занимают преимущественно южные, хорошо инсолируемые каменистые склоны хребтов, покрытых слоем щебня (крупнее 1-3 см) и глыб в пределах 900-1200 м абсолютной высоты. Миндальники спускаются и на щебнистые делювиальные и пролювиальные шлейфы с уклоном 5-7°, а абрикосники всегда произрастают на более крутых обвально-осыпных склонах крутизной 20-30°, где мало мелкозема и вся вода находится в более свободном состоянии, доступном для корней растений. Они встречаются реже на склонах восточной и западной и единично – северной экспозиции. Крутизна склонов здесь 15-30°. Если кустарники проникают под полог *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica*, то они хорошо приспосабливается к притенению, но глубина их проникновения на северные склоны под полог незначительна (20-30 м от линии водораздела по склону). Вероятно, миндальники в большей степени приспособлены к дефициту почвенной влаги и именно поэтому они спускаются в подгорные шлейфы, где в щебнистом субстрате довольно много мелкозема (до 20%) и часть влаги оказывается недоступной для растений. Абрикосники менее холодоустойчивы и не заходят так далеко в среднегорье, как миндальники, располагаясь гипсометрически выше миндальников. Дело в том, что нижние части склонов и их подножья зимой оказываются в подинверсионном слое холодного воздуха на дне котловин, тогда как верхние части склонов располагаются в более теплом слое температурной инверсии. И миндальники, и абрикосники избегают гладких горных склонов, где нет покрова глыб, крупного щебня и многочисленных выходов скальных пород. Вероятно, здесь хуже условия для укоренения этих кустарников: нет широких трещин и меньше доступной влаги. Как уже говорилось, и миндальники, и абрикосники в лесостепных низкогорьях в основном приурочены к склонам южной экспозиции, но неоднократно в различных местообитаниях

Таблица 10. Таксационные характеристики лесных сообществ ключевого участка «Шамар». **Таблица 10.** Taxation feautures of the forest communities on the index spot “Shamar”.

Точка №, размер площадки	Положение в рельефе	Расти-тельное сообщество	Древес-ная порода	Сред-няя высо-та, м	Средний диаметр, см	Воз-раст, лет	Бони-тет	Полнота	Кол-во на 1 га, экз.	Подрост	Подлесок	Состояние
ШМ-1, 20х20 м	Дюнно-ячеистые пески на террасе р. Орхон	Сосняк злаково-разнотрав-ный	Сосна	12	11	Около 30	II-III	От 0.9 в куртинах до 0.4 между ними	2050	Нет	Шиповник	Выпас, рубки, следы пожара
ШМ-2, 50х50 м	Днище котловины выдувания на террасе р. Орхон	Сосняк злаково-разнотрав-ный	Сосна	20-22	23	2 поко-ления: около 25 и около 50	II-III	0.3-0.4	196	Сосна единично	Шиповник куртина-ми, спирея	Выпас, рубки, следы пожара
ШМ-5, 10х10 м	Средняя пологая часть склона СЗ экспозиции, 3-4°	Абрикосник на месте соснового леса	Абрикос	1.14	162 (крона)	–	–	ПП 56.6%	2300	–	–	Пострадал от заморозков
			Сосна	0.7	2.1	5	II	0.1	200	Сосна очень редко		Видимо, уничтожен пожаром
ШМ-5а, 20х20 м	Средняя пологая часть склона СЗ эксп., 3-4°, чуть ниже ШМ-5	Сосновое редколесье с абрикосом	Сосна	13-14	18	27-29	II	0.3	Около 400	Сосна единично	Шиповник, абрикос	Почти не нарушен; выпас, следов огня нет

Продолжение таблицы 10.

Точка №, размер площадки	Положение в рельефе	Расти-тельное сообщество	Древес-ная порода	Сред-няя высо-та, м	Средний диаметр, см	Воз-раст, лет	Бо-ни-тет	Полно-та	Кол-во на 1 га, экз.	Подрост	Подлесок	Состояние
ШМ-8, 20х20 м	Ровная долина на южной оконечности лесного массива	Культура сосны	Сосна	18	19	28-30	II-III	0.5-0.6	500	Нет	Вяз единично	Выпас, следы огня
ШМ-9, 20х20 м	Ровная долина	Березняк злаково-разнотрав-ный на месте сгоревшего сосняка	Береза	7-8	5	Около 15	II	0.8-0.9	3175	Сосна единич-но, осина редко	Ива, шиповник	–
ШМ-10, 5х5 м	Ровная долина	Осинник травяной на месте сгоревшего сосняка	Осина	4	1.5	Около 15	III	0.9-1	20000	Нет	Шипов-ник единично	–
ШМ-12, 50х50 м	Ровная долина, контактная зона леса и степи	Парковый сосняк злаково-разнотрав-ный	Сосна	17+22	27	2 поко-ления (32 и 50)	II	0.3-0.4	100	Нет	Вяз	Выпас, следы огня

Селенгинского среднегорья нами было отмечено проникновение миндальников и абрикосников с южных склонов на полого-выпуклые водораздельные поверхности и склоны северной экспозиции и формирование под пологом разреженных лиственничников кустарникового яруса. Южнее расположенных в полуаридных горно-степных низкогорьях бассейнов рек Орхон и Тола абрикосники не встречаются вообще, что, очевидно, происходит из-за недостатка атмосферного увлажнения (Камелин, 1994). Миндальники здесь, в отличие от лесостепных низкогорий, занимают каменистые обвально-осыпные склоны и их подножья не только южных, но и других экспозиций, включая северную. Видимо, в этих аридных условиях гидротермический режим на каменистых склонах для развития миндальников оказывается благоприятным на любой экспозиции склона, причем численность и структура популяций миндаля на склонах разной экспозиции идентична.

Следует отметить, что на песчаных местообитаниях миндальники встречаются и в более аридных условиях (Хустайн-Нуруу). Причем именно на песках кусты миндаля по сравнению с горно-склоновыми сообществами отличаются лучшим габитусом, большими размерами и наиболее обильным плодоношением.

Amygdalus pedunculata и *Armeniaca sibirica* чаще всего выступают в роли доминанта и содоминанта в реликтовых кустарниковых сообществах степного и лесостепного пояса. Проективное покрытие кустарникового яруса здесь, варьируясь от 10 до 60%, в среднем составляет 25% (фото 8).

Фото 8. Формирование сообществ из *Armeniaca sibirica* на месте распадающихся сосновых лесов. **Photo 8.** *Armeniaca sibirica* community forming where the pine forests decay.

Видовая насыщенность у подножья склонов хребтов в луговых и степных сообществах колеблется в пределах 29-53 видов на 100 м^2, в среднем 43 вида. В местах выпаса скота видовое богатство значительно ниже – в среднем 25 видов на 100 м^2. В сообществах, где миндаль и абрикос произрастают совместно, выявлено, что популяции абрикоса являются популяциями инвазионного типа, в то время как популяции миндаля – регрессивного. В таких сообществах быстрыми темпами происходит замена доминанта (скорость продвижения популяции *Armeniaca sibirica* по склону составляе, в среднем 2 м в год).

Абрикос вытесняет миндаль за счет лучшей выживаемости ювенильных особей, более высокой скорости роста молодых растений, а также устойчивости к воздействию пирогенного фактора, так как пожары здесь нередки. Так, *Armeniaca sibirica* за счет активной вегетации побегами возобновления от корневой шейки за 5 лет после сильного повреждения пожаром (крона куста выгорает полностью до корневой шейки) целиком восстанавливает крону и обильно плодоносит (в среднем 400 плодов на особь). При этом абрикосники развивались на маломощном щебнисто-глыбовом субстрате склонов крутизной 25-35° и на скальных выходах, где растения укоренились в широких трещинах скальных пород.

Amygdalus pedunculata, Armeniaca sibirica, Rhamnus erythroxylon и *Caragana leucophloea* достигают своего биологического и экологического оптимума в верхней половине каменистых склонов южной экспозиции. Здесь они формируют хорошо развитую полушатровидную (абрикос) форму кроны и неправильную (миндаль) в результате частого объедания домашним скотом и достигают высоты в 2.3-2.5 м, а также обильно плодоносят. Кроме того, отмечен биологический оптимум *Amygdalus pedunculata* в нижней части песчаного склона юго-восточной экспозиции на задернованных дюнах в Хустайн-Нуруу, где миндаль достигает максимальной высоты 2.5 м и диаметра кроны 4.9 м. Здесь кусты миндаля формируют раскидистую полуприжатую полушатровидную крону, нетипичную для особей, произрастающих на каменистых склонах. Вероятно, это связано с иной стратегией выживания особей миндаля на песчаном субстрате. Также отмечен абсолютный биологический оптимум для *Armeniaca sibirica* в нижней части каменистого склона южной экспозиции. Высота кустарника составляла здесь 3 м, а диаметр ствола 13 см (при средних показателях высоты и диаметра 1.8 м и 4.5 см соответственно).

Предварительные результаты таксации кустарников показывают значительную вариабельность размеров, обусловленную прежде всего чрезмерным выпасом на обследованных территориях. Численность и структура популяций реликтовых кустарников зависит от их приуроченности к различным элементам рельефа: подножье склона, склон, водораздел, овраги, экспозиции склона, – а также от степени антропогенной нагрузки на популяцию. Максимальных значений по численности особей в популяциях все изучаемые виды кустарников достигают в верхней части каменистых склонов южной экспозиции. Число взрослых особей *Amygdalus pedunculata* здесь колеблется от 8 до 24 кустов на учетную площадь, *Armeniaca sibirica* – 8-26 кустов, *Atraphaxis pungens* – 1-4, *Rhamnus erythroxylon* – 2-11, *Caragana pigmaea* – 6-25, *C. stenophylla* – 4-19, *C. leucophloea* – 1-6 кустов. Жизненность кустарников, как правило, высокая, однако там, где условия среды не вполне отвечают экологическим требованиям того или иного вида, она ниже.

Кустарниковые заросли иногда маркируют остатки лесных экосистем и указывают скорее на потенциальную пригодность местообитаний для развития леса. Это особенно верно в случае мезофитных кустарников, таких как *Cotoneaster melanocarpa*, развивающихся в ложбинах на сравнительно крутых (порядка 20-40°) склонах гор, исключая склоны южной экспозиции. При этом кустарники, как правило, занимают северные склоны ложбин. Там же нередко можно видеть единичные сосны. Интересно отметить, что чаще всего возраст этих сосен не превышал 40 лет. Вероятно, около 40 лет назад в изученном районе сложились благоприятные условия для возобновления сосны. В настоящее время часть этих деревьев усыхает, причем мы исключаем пожар или нападение вредителей как возможную причину. По-видимому, в данном случае ведущую роль играет климатический фактор. Характер почвообразовательного процесса в таких местообитаниях иногда свидетельствует о периодических сменах леса степью и наоборот.

Мезофитные кустарники (*Cotoneaster melanocarpa, Ribes diacantha*) могут некоторое время существовать после вырубки или распада древостоя. Кизильник, по-видимому, сначала значительно увеличивает фитомассу, однако впоследствии начинает усыхать и

сменяться более устойчивой к дефициту влаги и повышенной инсоляции *Spiraea aquilegifolia*. Этот вид спиреи также замещает на освободившихся от леса пространствах обычную под пологом леса *Spiraea media*. Если в сообществе еще сохраняются отдельные деревья, в проекции их крон возможно успешное возобновление кизильника.

В ряде случаев кустарниковые заросли не развиваются непосредственно на месте сгоревших или вырубленных лесов. Такие местообитания заселяются обычно березой, а если в древостое присутствовала осина, то она дает крайне густое возобновление от корней (сотни тысяч побегов на 1 га; фото 9).

Фото 9. Распространение березовых и осиновых лесов на склонах северной экспозиции в горной части ключевого участка «Шамар». **Photo 9.** Birch and aspen forests distribution on the slopes of the northern exposition in the mountain part of the index spot «Shamar».

Иногда на гарях развивается сосна. В то же время на нарушенных местообитаниях нередко разрастается курильский чай. В целом выходящие из-под сосновых лесов земли крайне редко вновь заселяются сосной и, как правило, покрываются либо мелколиственными породами, либо кустарниками. Равнинные участки «Тужийн нарс», до пожаров покрытые лесом, обычно возвращаются к лесному состоянию, но со сменой пород (береза и осина вместо сосны), а склоны гор, обращенные к долине Селенги и к межгорным котловинам, превращаются в кустарниковые заросли из *Armeniaca sibirica*, где возобновление сосны практически не происходит.

По данным, полученным на ключевом участке «Шамар», наблюдается четкий тренд в сукцессионных сменах древесной растительности, в данном случае сосновых лесов, на кустарниковую, представленную сообществами абрикоса сибирского (*Armeniaca sibirica*). К настоящему времени практически все мезоэкотопы на мегасклоне южной экспозиции, ориентированные в западном и восточном направлениях, уже полностью заняты крупнокустовыми сообществами с высоким, до 40-60%, проективным покрытием. В качестве свидетельств былого распространения здесь сосновых лесов служат сохранившиеся ценозы из абрикосовых сосняков или абрикосников с редкостойными соснами. Дополнительным и очень важным показателем прогрессирующего расширения ареала служит внедрение и

успешное развитие абрикосников в лесных сообществах на склонах северной экспозиции.

Рассмотрение условий увлажнения в коренных сообществах сосновых лесов, вторичных мелколиственных лесов, а также замещающих их кустарниковых зарослей из абрикоса сибирского показало (табл. 11), что наименьший запас влаги, вплоть до полного его исчезновения, был зафиксирован в последнем случае – в густых абрикосовых зарослях (разрезы ШМ-4 и ШМ-5). Запас продуктивной влаги в почвенном слое (0-70, 0-100 см) в летние периоды 2014 и 2015 гг. в березняках и осинниках был незначителен и достигал лишь 5-10 мм (разрезы ШМ-9 и ШМ-10). Почвы под сообществами сосновых лесов отличались хотя и незначительным, но все же повышенным содержанием продуктивной влаги, которое составляло 26-36 мм (разрезы ШМ-1 и ШМ-3). Приведенные данные позволяют сделать определенный вывод об отсутствии в настоящее время условий для восстановления хвойных лесов в густых абрикосниках и о постепенном вытеснении сосны и других хвойных пород более адаптированным к аридизации климата абрикосом.

Конкурентные взаимоотношения лиственницы сибирской (Larix sibirica) и караганы Бунге (Caragana bungei). Исследования проводились в лиственничниках злаково-ритидиевых, разнотравно-злаковых и злаково-осоковых сообществах на мегасклоне западной экспозиции Хангайского нагорья на ключевом участке Тосонцэнгэл (Завханский аймак). Формула состава древостоя во всех изученных типах леса 10Лц, т.е. это чистые, монодоминантные сообщества. Их происхождение естественное. Возрастной состав сообществ варьирует от абсолютно одновозрастных до абсолютно разновозрастных; как правило, старшее поколение деревьев насчитывает порядка 250-300 лет. Полнота также неоднородна и даже в пределах одного и того же древостоя может колебаться от 0.6 до 1.0. Весьма нередки сильно разреженные древостои, вплоть до лиственничников паркового типа, которые в силу своей крайней низкополнотности (0.3-0.4 и ниже) уже не могут считаться лесами. Эта разреженность обусловливается как естественными причинами, так и воздействием человека (выборочные рубки, сильный выпас скота). Средний бонитет II-III, реже IV.

На пробных площадях, заложенных в лиственничниках, была выполнена оценка эффективности естественного возобновления, для чего пересчитывался подрост и самосев, и определялась его благонадежность (потенции дальнейшего развития). Обследованные леса сильно различаются по самовозобновлению. Во многих случаях наблюдался обильный самосев в возрасте 1-2 года (до 70 и более шт./м^2), но крайне редкий подрост, к тому же сильно поврежденный скотом. Такие лесные сообщества рискуют через определенное время смениться степями либо зарослями кустарников, если не отрегулировать пастбищные нагрузки.

Лиственничники ключевого участка «Тосонцэнгэл» (а также расположенного восточнее сомона Их-Уул) представлены двумя основными вариантами: долинными лесами, произрастающими на песчаных аллювиальных отложениях реки Идэр и ее притоков, и горными лесами, занимающими теневые склоны гор. Между ними существует кардинальное различие: как правило, первые представляют собой редины с полнотой 0.3-0.4 и ниже, вследствие чего под их крайне разреженным пологом не формируется собственно лесная среда, тогда как вторые могут быть достаточно высокополнотными, формирующими нормальную лесную среду. Несмотря на это долинные леса играют важную гомеостатическую роль в мега-экосистеме лесостепных ландшафтов, так как есть основания полагать, что они служат одним из источников семян для территорий, лишившихся леса вследствие пожаров или вспышек насекомых-вредителей. Эти леса очень старовозрастны (до 250-300 лет), а леса на горных склонах чаще всего гораздо моложе (60-80 лет) и несут следы огня.

Таблица 11. Естественная влагообеспеченность и запасы почвенной влаги на ключевом участке «Шамар» (по данным полевых работ в июле-августе 2014 и 2015 гг.). **Table 11.** Natural water availability and soil moisture reserve on the index spot “Shamar” (according to the researches made during July-August in 2014-2015).

Индекс почвенного разреза	Географические координаты, высота в м н.у.м. БС, название растительного сообщества и почв	Интервал глубин опробования, см	Максимальная гигроскопичность, %	Естественная влажность, %	Влажность завядания, %	Общий запас влаги, мм	Мертвый запас влаги, мм	Продуктивный запас влаги, мм	Объемный вес (δ), г/см^2
ШМ-1	50° 04' 14.8" с.ш., 106° 11' 41.5" в.д., 676 м, сосновый лес, почва песчаная боровая	0-10	2.00	10.30	2.70	13.40	3.50	9.90	1.30
		10-20	2.00	6.60	2.70	8.60	3.50	5.10	1.30
		20-30	0.75	4.10	1.00	5.30	1.30	4.00	1.30
						Σ 27.3	*Σ 8.3*	*Σ 19.0*	
		30-40	0.75	3.00	1.00	4.50	1.50	3.00	1.50
		40-50	0.75	2.60	1.00	3.90	1.50	2.40	1.50
		50-60	0.75	2.80	1.00	4.50	1.60	2.90	1.60
						Σ 40.2	*Σ 12.9*	*Σ 27.3*	
		60-70	0.75	2.20	1.00	3.50	1.60	1.90	1.60
		70-80	0.75	2.10	1.00	3.40	1.60	1.80	1.60
		80-90	0.75	2.60	1.00	4.20	1.60	2.60	1.60
		90-100	0.75	3.00	1.00	4.80	1.60	3.20	1.60
						Σ 56.10	*Σ 19.30*	*Σ 36.80*	
ШМ-3	50° 04' 12.4" с.ш., 106° 11' 44.7" в.д., 684 м, сосновый лес,	0-10	1.00	8.60	1.30	11.20	1.70	9.50	1.30
		10-20	0.75	5.20	1.00	8.30	1.60	6.70	1.50
		20-30	0.75	3.20	1.00	5.10	1.60	3.50	1.60
						Σ 24.6	*Σ 4.9*	*Σ 19.7*	
		30-40	0.75	2.80	1.00	4.50	1.60	2.90	1.60

Продолжение таблицы 11.

Индекс почвенного разреза	Географические координаты, высота в м н.у.м. БС, название растительного сообщества и почв	Интервал глубин опробования, см	Максимальная гигроскопичность, %	Естественная влажность, %	Влажность завядания, %	Общий запас влаги, мм	Мертвый запас влаги, мм	Продуктивный запас влаги, мм	Объемный вес (δ), г/см^2
ШМ-3	песчаная боровая почва	40-50	0.75	3.10	1.00	5.20	1.60	3.60	1.60
						Σ 34.30	*Σ 8.10*	*Σ 26.20*	
ШМ-9	50° 02' 06.6" с.ш., 106° 14' 00.4" в.д., 756 м, березовый лес, почва темно-каштановая супесчано-пылеватая	0-10	4.00	10.10	5.40	12.10	6.50	5.60	1.20
		10-20	4.00	7.90	5.40	9.50	6.50	3.00	1.20
		20-30	4.00	5.10	5.40	5.10	6.50	-1.40	1.20
						Σ 26,7	*Σ 19.5*	*Σ 7.2*	
		30-40	3.00	5.00	4.00	6.50	5.20	1.30	1.30
		40-50	3.00	5.10	4.00	6.60	5.20	1.40	1.30
		50-60	6.00	4.40	8.00	5.70	10.40	-4.70	1.30
						Σ 45.50	*Σ 40.30*	*Σ 5.20*	
ШМ-10	50° 05' 18.1" с.ш., 106° 14' 10.2" в.д., 758 м, осинник, почва темно-каштановая супесчано-пылеватая	0-10	4.00	8.70	5.40	10.40	6.50	3.90	1.20
		10-20	4.00	6.20	5.40	7.40	6.50	0.90	1.20
		20-30	4.00	5.20	5.40	6.20	6.50	-0.30	1.20
						Σ 24.0	*Σ 19.5*	*Σ 4.5*	
		30-40	3.00	5.30	4.00	6.90	5.20	1.70	1.30
		40-50	3.00	5.70	4.00	7.40	5.20	2.20	1.30
		50-60	3.00	5.80	4.00	7.50	5.20	2.30	1.30
						Σ 45.80	*Σ 35.10*	*Σ 10.70*	
						Σ 34.00	*Σ 52.00*	*Σ -18.00*	

Продолжение таблицы 11.

Индекс почвен-ного разреза	Географические координаты, высота м н.у.м. БС, название растительного сообщества и почв	Интервал глубин опробования, см	Максималь-ная гигро-скопичность, %	Естествен-ная влажность, %	Влажность завядания, %	Общий запас влаги, мм	Мертвый запас влаги, мм	Продуктив-ный запас влаги, мм	Объемный вес (δ), г/см^2
ШМ-4	50° 02' 00.5" с.ш., 106° 15' 35.7" в.д., 906 м, разнотравно-злаковая степь, редкие кусты абрикоса; почва темно-каштановая щебнистая	0-10	4.00	5.90	5.40	7.10	6.50	0.60	1.20
		10-20	4.00	3.60	5.40	4.30	6.50	-2.20	1.20
		20-30	4.00	3.90	5.40	4.70	6.50	-1.80	1.20
						Σ 16.1	*Σ 19.5*	*Σ -3.4*	
		30-40	3.00	8.40	4.00	10.90	5.20	5.70	1.30
		40-50	3.00	16.90	4.00	21.90	5.20	16.70	1.30
						Σ 48.90	*Σ 29.90*	*Σ 19.00*	
ШМ-5	50° 03' 02.2" с.ш., 106° 15' 22.6" в.д., 833 м, шлейф, уклон 10°, ЗСЗ, заросли абрикоса на супесчано-лессовидной темно-каштановой почве	0-10	4.00	5.20	5.40	6.20	6.50	-0.30	1.20
		10-20	4.00	4.60	5.40	5.50	6.50	-1.00	1.20
		20-30	4.00	4.40	5.40	5.30	6.50	-1.20	1.20
						Σ 17.0	*Σ 19.5*	*Σ -2.5*	
		30-40	4.00	4.80	5.40	5.80	6.50	-0.70	1.20
		40-50	3.00	4.80	4.00	6.10	5.20	0.90	1.30
		50-60	3.00	4.40	4.00	5.70	5.20	0.50	1.30
						Σ 34.6	*Σ 36.4*	*Σ -1.8*	
		60-70	3.00	4.50	4.00	5.80	5.20	0.60	1.30
		70-80	3.00	5.10	4.00	6.60	5.20	1.40	1.30
		80-90	6.00	5.20	8.00	6.80	10.40	-3.60	1.30
		90-100	6.00	4.40	8.00	5.70	10.40	-4.70	1.30
						Σ 59.50	*Σ 67.60*	*Σ -8.10*	

В большинстве случаев их лесопатологическое состояние удовлетворительное, но местами наблюдаются затухшие очаги вредителей.

Рекогносцировочное обследование территории аймака Завхан уже проводилось нами в 2004 г., и уже тогда были получены некоторые предварительные результаты, позволившие в 2014 г. вести поиск более целенаправленно. Ряд пробных площадей, заложенных и протаксированных в 2004 г., были протаксированы повторно в 2014 г., что позволило проследить некоторые тренды в динамике растительности.

За годы, истекшие со времени нашего первого исследования сообществ караганы, почти на всех пробных площадях произошло более или менее заметное увеличение проективного покрытия этого вида, иногда более чем в 2 раза (табл. 12, рис. 3).

По-видимому, этот тренд свидетельствует об усилении ценотических позиций караганы Бунге, в том числе и под пологом лиственничных лесов. По существу, мы можем говорить о распространении в исследованном районе процессов биологического опустынивания, что настоятельно требует более углубленного изучения.

На западной периферии бассейна Байкала карагана Бунге определяет структуру трансформированных степных сообществ по нижним пологим частям склонов сопок и прилегающим к ним выровненным поверхностям с абсолютными отметками 1400-1580 м. В результате внедрения караганы Бунге, пастбища превращаются в карагановые заросли с проективным покрытием этого вида кустарника от 20 до 50% (фото 10). По песчаным отложениям, сформировавшимся в результате эолового переноса, карагана Бунге проникает в сообщества петрофитных горных степей и лиственничных лесов. Так, ее значительное обилие характерно для сообществ горных степей. В петрофитноразнотравно-злаково-осоково-карагановом сообществе (точка 56-2) на 100 м^2 отмечено 29 кустов караганы Бунге, их проективное покрытие составило более 26%. Участие других кустарников мало. Больших значений в этом сообществе достигает видовая насыщенность травяного яруса (23 вида) с проективным покрытием 18% (табл. 13).

Особое явление представляет собой внедрение этого кустарника под полог лиственничных лесов (фото 11). Естественными экологическими коридорами для проникновения караганы Бунге в сообщества лиственничных лесов служат переотложенные массивы песка на довольно крутых (20-30°) склонах сопок северо-восточной экспозиции. Так, древесный ярус лиственничного леса (точка 56-1) представлен средневозрастными лиственницами (*Larix sibirica*) высотой 10-12 м; отмечен редкий подрост. Разреженный кустарниковый ярус из единичных особей кизильника (*Cotoneaster melanocarpa*) и спиреи (*Spiraea media*) не стал препятствием для внедрения караганы, которой на 100 м^2 насчитывалось 12 экземпляров. Проективное покрытие травяного яруса составило 28%, доминируют желтушник (*Erysimum hieracifolium*) и осока (*Carex pediformis*; табл. 13). Карагана несколько более обильна в сообществах с разреженным древесным ярусом. На остепненном лугу с единичным участием лиственницы (ключевой участок 56-3) проективное покрытие *Caragana bungei* составило 19%.

Наиболее выраженная положительная динамика обилия караганы Бунге была отмечена в горных лиственничных лесах (табл. 13). Так, в разреженном лиственничнике (точка 54-1) ее проективное покрытие возросло в 2.3 раза. В структуре сообщества этот вид формирует более 37% от общего проективного покрытия. Возросло обилие и у других видов кустарников. Значительно увеличилось присутствие *Thalictrum minus*. В высокополнотном лиственничнике (точка 56-1) проективное покрытие караганы возросло в 1.5 раза. Ее участие в структуре сообщества также показывает положительную динамику. Вместе с тем произошло увеличение обилия кустарников, злаков и осоки, за счет чего общее проективное покрытие возросло в 1.3 раза. Доминантами в настоящее время являются *Elymus sibiricus* и *Carex pediformis*.

Таблица 12. Динамика проективного покрытия караганы Бунге за 2004-2014 гг.
Table 12. Dynamics of the projective cover of *Caragana bungei* Ledeb. during 2004-2014.

Точка №	Географические координаты	Абсолютная высота в м н.у.м. БС	Положение в рельефе	Растительность	Проективное покрытие, %	
					2004	2014
54-1	48° 42' 35.0" с.ш., 98° 38' 51.8" в.д.	1814	Склон СВ экспозиции, 20°	Карагановый лиственничник	12.4	28.3
54-2	48° 42' 37.0" с.ш., 98° 38' 50.6" в.д.	1815	Склон СВ экспозиции, 20°	Разреженный лиственничник с караганой	11.6	28.1
55-1	48° 43' 42.3" с.ш., 98° 22' 20.4" в.д.	1713	Пологонаклонный шлейф ВСВ экспозиции, 3°	Караганник лапчатково-злаковый	5.1	3.6
56-1	48° 39' 11.7" с.ш., 98° 56' 11.4" в.д.	1858	Восточная часть ареала *Caragana bungei* вдоль р. Идэр; верхняя часть крутого склона	Лиственничник с караганой	3.0	4.5
56-2	48° 39' 11.7" с.ш., 98° 56' 10.5" в.д.	1859	Опушка с молодой лиственницей и густой караганой, в 5 м от 56-1; верхняя часть склона, 22°	Лиственничник с караганой	26.3	26.6
57-2	48° 41 '38.2" с.ш., 98° 49' 14.4" в.д.	1720	В 3 км от сомона Их-Ула; нижняя часть склона средней крутизны, 16° ВСВ экспозиции	Разреженный лиственничник (диаметр стволов до 60 см) с обломанными вершинами, высота до 13-15 м	13.6	5.2
58-3	48° 44' 59.2" с.ш., 98° 02' 37.3" в.д.	1866	Склон ЮВ экспозиции, 32°; каменистость >90%.	Караганник лапчатково-злаковый	5.9	7.9
58-4	48° 44' 55.7" с.ш., 98° 02' 38.7" в.д.	1832	Пологий шлейф южной экспозиции, крутизна 8-9°	Караганник лапчатково-злаковый	6.8	6.9
58-5	48° 43' 50.4" с.ш., 98° 02' 38.7" в.д.	1740	Пологий песчаный склон флювио-гляциальной равнины к пойме р. Идэр; крутизна 5-6°	Караганник лапчатково-злаковый	26.0	2.6

С целью оценки характера развития кустарника в лиственничных лесах различной полноты нами был использован показатель напряженности роста. Напряженность роста древесного растения – это отношению высоты к диаметру (h/d), служащее физиолого-морфологическим отражением состояния как отдельно взятого дерева, так и древостоя в целом, зависящее от конкуренции за ресурсы среды, от почвенно-гидрологических условий и техногенного воздействия. Понятие о напряженности роста было разработано впервые А.Я. Медведевым (1884) и позже конкретизировано К.К. Высоцким (1962). Достаточно давно было доказано, что большая напряженность роста ведет к ослаблению и гибели дерева, а в случае древостоя – к его распаду. Несмотря на то что этот показатель изучается на примере стволов лесных деревьев, его можно применять и для оценки состояния кустарников, используя данные по диаметру кроны и общей высоте.

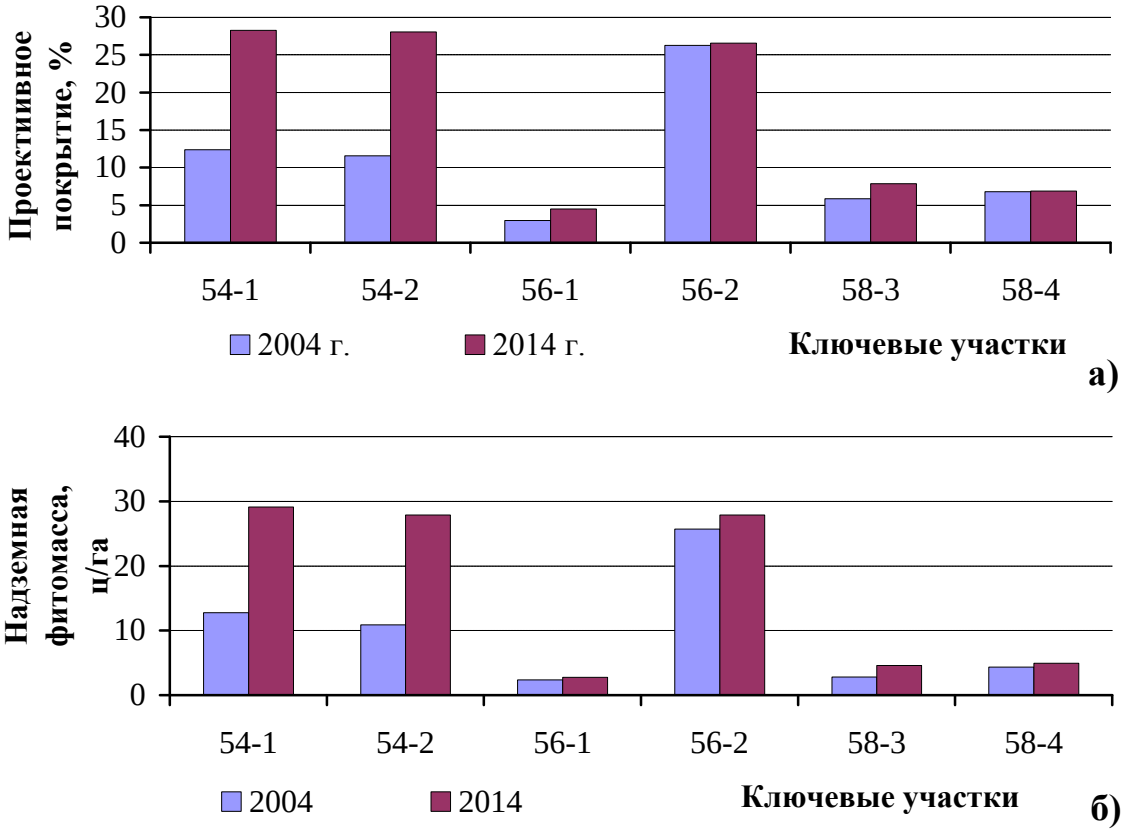


Рис. 3. Изменение проективного покрытия (а) и надземной фитомассы (б) *Caragana bungei* на ключевых участках полигона Тосонцэнгэл за 10 лет. **Fig. 3.** Changes of the projective cover (a) and overground fitomass (б) of *Caragana bungei* on the index spots of the Tosontsengel ground in 10 years.

Как и ожидалось, кроны караганы с увеличением полноты древостоя имели более или менее четкую тенденцию к приобретению удлиненной цилиндрической формы, т.е. напряженность роста возрастала (рис. 4а).

Важно подчеркнуть, что, как говорилось выше, лиственница и карагана Бунге являются выходцами из очень разных природных зон – тайги и пустынных степей, поэтому они эволюционно друг к другу не адаптированы. Данный вид караганы не приспособлен к произрастанию под пологом леса, вследствие чего его реакция на затенение отличается от реакции лесных кустарников. Можно полагать, что карагана Бунге реагирует на

конкуренцию со стороны лиственницы за свет примерно так же, как и на конкуренцию внутривидовую, т.е. ускоряет рост в высоту за счет ослабления латерального роста.

Фото 10. Заросли *Caragana bungei* на пастбищах и среди редкостойных лиственничников в долине р. Идэр. **Photo 10.** *Caragana bungei* bushes on the pastures and among the sparce larch forests in the valley of the Ider River.

Что касается конкурентных отношений караганы и лиственницы за влагу, то первая, как обитатель аридных ландшафтов, имеет преимущество, которое, по-видимому, особенно опасно для молодого лиственничного подроста.

Проективное покрытие караганы в зависимости от увеличения полноты древостоя снижается (рис. 4б). Особенно значительно это снижение при полноте древостоя 0.4 и выше, возможно, являющейся пороговой величиной, за которой лиственница формирует лесную среду, менее пригодную для жизнедеятельности караганы. Учитывая, что исследований по взаимоотношениям этих видов ранее не проводилось, прогноз дальнейшего развития лесных экосистем, подвергающихся воздействию ветро-песчаного переноса, затруднителен и требует привлечения дополнительной информации.

В течение 27 лет песчаный покров на исследовательском полигоне увеличился на 38%, следовательно, он прирастал на 1.25% в год (рис. 5). Опесчаниванию долины р. Идэр и прилегающих к долине склонов гор способствует более аридный, по сравнению с горными хребтами, климат со среднегодовым количеством осадков 200-300 мм и менее (рис. 6). Вынос песка из пустынных ландшафтов Котловины Больших озер создает благоприятную среду для развития караганы Бунге, которая активно внедряется под полог лиственничников по песчаным «языкам», отлагающимся на подветренных склонах гор и речных долин. Таким образом, распространению караганы Бунге в сообщества гемибореальных лиственничных лесов в таежно-лугово-степном поясе гор способствуют формируемые в результате эолового переноса своеобразные экологические коридоры, а также отсутствие конкурентных видов в кустарниковом покрове.

а)

б)

Фото 11. Внедрение *Caragana bungei* под полог распадающихся лиственничных лесов.
Photo 11. *Caragana bungei* introduction under the canopy of the degrading larch forests.

Таблица 13. Ценотическая роль *Caragana bungei* в исследованных сообществах.
Table 13. Cenotic role of *Caragana bungei* in the studied communitites.

Ярусы	Виды	Точки			
		56-1	56-2	56-3	56-4
		Проективное покрытие вида			
I	*Larix sibirica*	45	–	4	–
II	*Caragana bungei*	3.0	26.3	19.0	16.1
II	*Cotoneaster melanocarpus*	+	1	–	–
III	*Aconogonon angustifolium*	–	–	1	–
III	*Agropyron cristatum*	–	3	+	+
III	*Allium bidentatum*	–	–	–	1
III	*Aster alpinus*	1	–	2	+
III	*Artemisia changaica*	–	–	–	1
III	*A. frigida*	–	2	–	+
III	*A. palustris*	–	–	–	1
III	*Carex pediformis*	5	5	5	+
III	*Draba nemorosa*	+	+	1	–
III	*Dracocephalum foetidum*	–	–	–	1
III	*Erodium stephanianum*	–	–	–	2
III	*Erysimum hieracifolium*	15	–	3	–
III	*Festuca lenesis*	1	–	–	–
III	*Galium verum*	2	+	2	–
III	*Koeleria cristata*	–	1	2	–
III	*Krascheninnikovia ceratoides*	–	3	–	–
III	*Lappula intermedia*	–	2	1	–
III	*Poa attenuata*	–	–	1	–
III	*P. pratensis*	2	–	1	–
III	*Potentilla bifurca*	–	1	–	+
III	*Stipa krylovii*	–	1	–	+
III	*Thalictrum minus*	3	+	1	+
III	*Veronica incana*	–	+	1	–
Общее проективное покрытие		77.0	45.3	44.0	22.1
Количество видов на 100 м^2		21	27	28	30

Примечание к таблице 13: с незначительным покрытием отмечены *Caragana stenophylla, Spiraea hypericifolia, S. media, Allium leucocephalum, Androsace septentrionalis, Carum carvi, Dianthus versicolor, Goniolimon speciosum, Orostachys spinosa, Rheum undulatum, Silene repens, Stellaria dichotoma, Valeriana alternifolia.*

Кроме того, одной из особенностей этого вида является его высокая фотосинтетическая способность. Анализ физиологических параметров кустов караганы Бунге на профиле «степь – опушка – лес» показал, что на степных участках горного склона она имеет высокую эффективность использования воды, что прямо говорит о недостатке почвенной влаги и о

необходимости значительной экономии ресурсов в этих условиях. При продвижении под полог лиственницы эффективность использования воды караганой уменьшается и достигает значений, характерных для равнинных участков, что говорит о благоприятном водном режиме, однако затенение в лесу не позволяет кустарникам развить высокую фотосинтетическую продуктивность. В пределах экологического профиля плотность и толщина листа, а также уровень фотосинтеза, снижаются вследствие недостатка освещения на горном склоне в направлении от степных участков к лесным. В разреженном лесу, где солнечные пятна могут давать высокий свет в течение длительных промежутков времени, мощный фотосинтетический аппарат караганы способен обеспечить стабильный положительный углеродный баланс и устойчивый рост (Гунин и др., 2015).

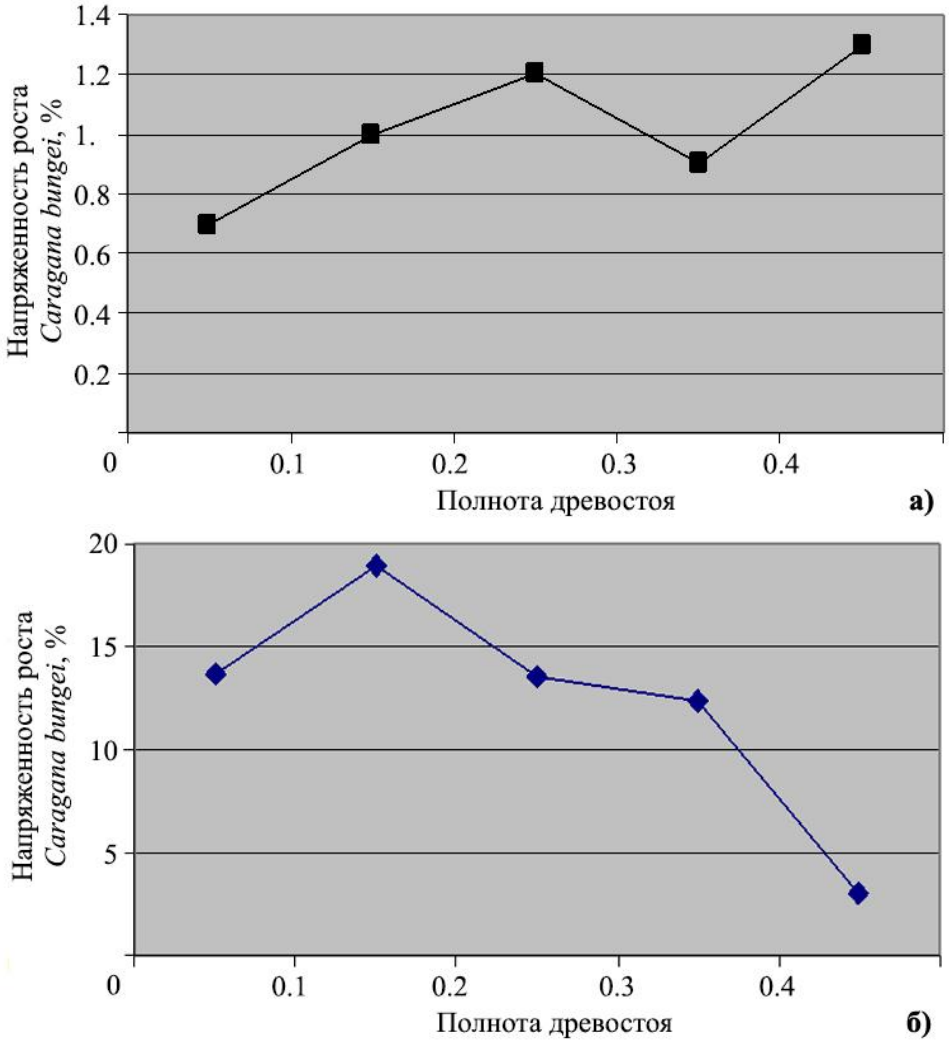
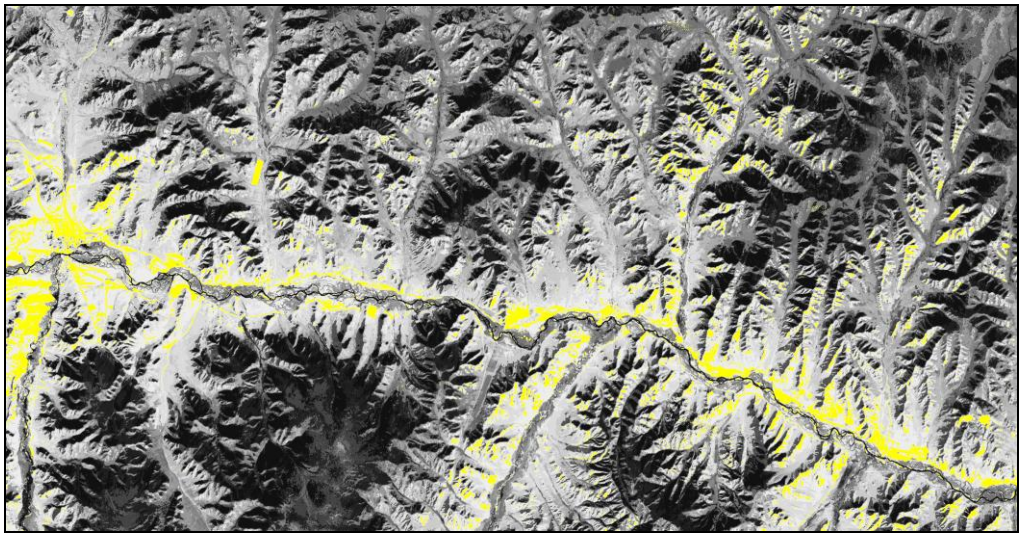
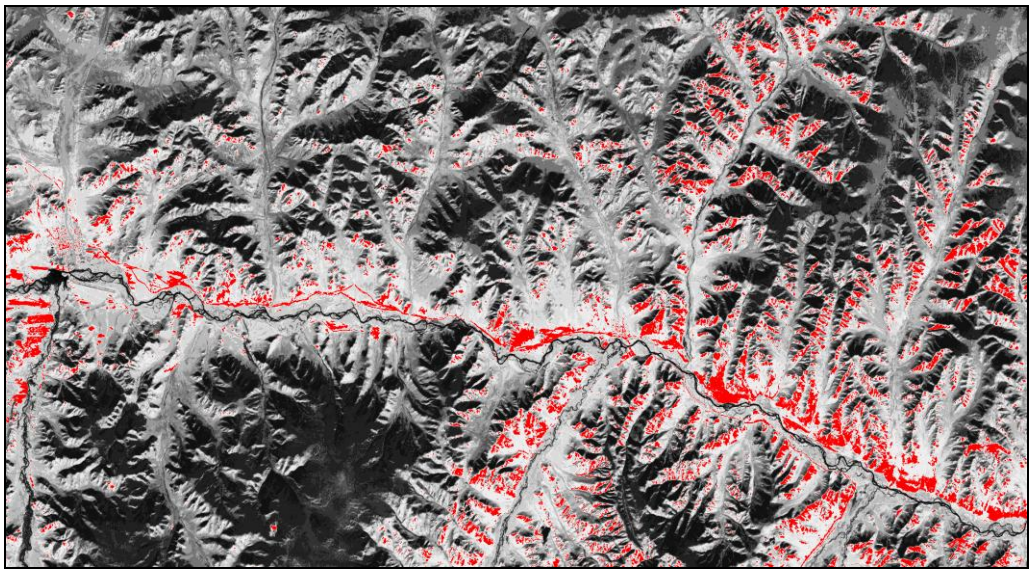


Рис. 4. Зависимость напряженности роста (а) и проективного покрытия (б) караганы Бунге от полноты лиственничного древостоя. **Fig. 4.** Dependance of grows intensity (a) and projective cover (б) of *Caragana bungei* Ledeb. from the larch stand density.

Таким образом, благодаря как особенностям своей физиологии, так и растущему антропогенному давлению на лиственничники, происходящему на фоне аридизации ландшафтов, карагана Бунге получает дополнительные преимущества в конкуренции с лиственницей и активно внедряется в лесные экотопы.



а)

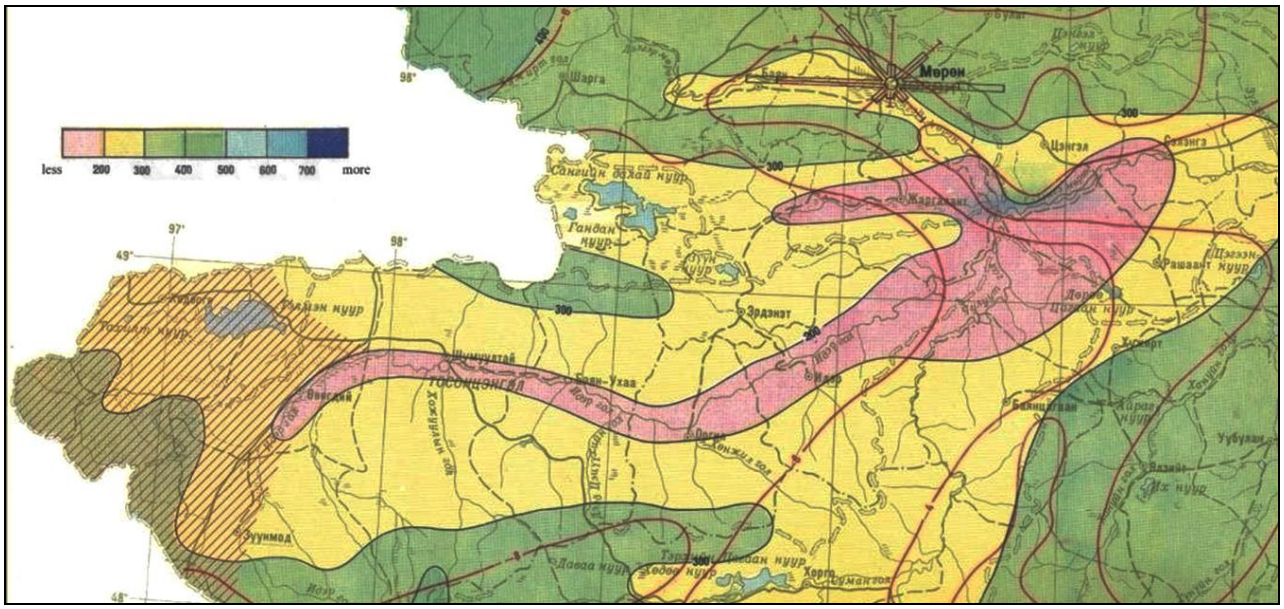


б)

Рис. 5. Распространение песчаного покрова по данным Landsat-5, август 1986 г. (а) и Landsat-8, август 2013 г. (б). **Fig. 5.** Distribution of the sand cover, accorind to the data of Landsat-5, August 1986 (a) and Landsat-8, August 2013 (б).

Оценка состояния кустарниковых зарослей и травяных сообществ и современные процессы расширения занятых ими площадей позволяют считать их достаточно устойчивыми ценозами, препятствующими естественному возобновлению коренных (сосновых, лиственничных) лесов. Вместе с тем, дальнейшее усиление антропогенных нагрузок вкупе с аридизацией климата может углубить трансформацию этих вторичных сообществ и привести в конечном итоге к господству дигрессивных вариантов: кустарниковых пустошей и степей с ничтожной экологической и хозяйственной ценностью (рис. 7).

Несмотря на в целом негативную оценку экологических и экономических последствий рассмотренных в настоящей главе смен растительности, необходимо сделать оговорку, что прямолинейная направленность трансформации лесных и пост-лесных сообществ в действительности наблюдается отнюдь не всегда.


less
200
300
400
500
600
700
more
Морон
Гандан нуур
Зодэнэт
Цэнгэл
Сэлэнгэ
Шумуутай
Бэлэн-Ухаа
Уулнмод
Хосоцонгэл
Бэлцэгтэй
Хосорт
Уубулан
Ямаанд
Их нуур
Хорго
Сумаанзон
Даага нуур
Хөдөө нуур
Сангийн дохой нуур
Шарга
Жаргалант
Рашаант нуур
Доно цэвэн нуур
Бэлцэгтэй
Харгас нуур
Хонжилт гол
Идэр
Хонгорт
Хөгжилтэй гол
Дөнгөлжин гол
Хөдөө Цэмбэлжин
Хөдөө Цэмбэлжин нуур
Хөдөө нуур
Даага нуур
Хорго
Сумаанзон
Ямаанд
Ямаанд нуур
Ямаанд гол
Ямаанд нуур
Ямаанд гол
Ямаанд нуур
Ямаанд гол

территорию самосевом. К сожалению, в настоящее время вероятность благоприятного сочетания факторов естественного возобновления лесов в южной части бассейна Байкала невелика.

Выводы

Полевые исследования, проведенные в 2014-2016 гг. в лесостепных ландшафтах бассейна озера Байкал, позволили пространственно локализовать и изучить три основных фактора обезлесения.

1) *Иссушение корнеобитаемого слоя почвогрунтов* и его фатальные для лесных сообществ последствия ярко проявились на ключевом участке «Верхний Куйтун» в Баргузинской котловине. Аналогичные явления можно прогнозировать и в гораздо более широком ареале ввиду негативных климатических тенденций, инструментально фиксируемых на метеостанциях в разных частях бассейна Байкала.

2) Обезлесение может происходить и по прямо противоположной причине – *переувлажнению корнеобитаемого слоя почвогрунтов*, что наблюдается на ключевом участке «Налайх» к юго-востоку от Улан-Батора. Этот процесс актуален, в первую очередь, для высокогорных котловин, и может считаться естественным, но может быть «запущен» и человеком вследствие разработок полезных ископаемых или гидростроительства. И то, и другое значительно активизировалось в Монголии в последние 20-25 лет.

3) Широкое распространение и значительную остроту в бассейне Байкала получили *конкурентные отношения между древесной и кустарниковой растительностью*, в которых на стороне последней фактически выступает человек. Вследствие этого на больших территориях происходит смена лесных ценозов кустарниковыми, причем на разных ключевых участках, в зависимости от конкретных природных условий, доминируют различные виды кустарников: на участке «Шарын-Гол» – *Dasiphora fruticosa*, «Шамар» – *Armeniaca sibirica*, «Тосонцэнгэл» – *Caragana bungei*. Кустарники не только замещают распадающиеся леса, но и служат индикаторами экотопов, потенциально пригодных для искусственного лесоразведения, как в случае с *Dasiphora fruticosa*, или наоборот – непригодными для лесоразведения при сукцессии *Armeniaca sibirica*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бажа С.Н., Балданов Б.Ц.. Басхаева Т.Г., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И., Дугаржав Ч., Концов С.В., Убугунова В.И., Хадбаатар С., Гунин П.Д. 2016. Диагностические признаки лесовосстановительного потенциала *Larix sibirica* Ledeb. В экосистемах на южной границе бореального пояса Азии // Аридные экосистемы. Том 22. № 3 (68). С. 32-41.

Высоцкий К.К. 1962. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат. 177 с.

Гунин П.Д., Бажа С.Н., Балданов Б.Ц., Басхаева Т.Г., Концов С.В., Насатуева Ц.Н., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Холбоева С.А., Цыремпилов Э.Г. 2015. Закоривание почв и восстановление растительного покрова на залежных землях Баргузинской котловины // Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития: Материалы Международной конференции. Улан-Батор (Монголия), 8-11 сентября 2015 г. Улан-Батор: “Terkhchandmani” Co., Ltd. Т. 2. С. 362-366.

Доржсурэн Ч. 1990. Сохранение подроста и естественное возобновление леса на вырубках Хялганатского леспромхоза // Природные условия и ресурсы некоторых районов Монгольской Народной Республики. Улан-Батор. С. 135-137.

Доржсурэн Ч. 2009. Антропогенные сукцессии в лиственничных лесах Монголии. М.: Россельхозакадемия. 260 с.

Камелин Р.В. 1994. География и фитоценология *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. // Растительные ресурсы. Т. 30. Вып. 1-2. С. 3-26.

Коротков И.А. 1976. Географические закономерности распределения лесов в Монгольской Народной Республике // Ботанический журнал. Т. 61. № 2. С. 145-153.

Краснощеков Ю.Н., Коротков И.А., Чередникова Ю.С., Цэдэндаш Г. 1990. Методы оценки и картографирования современного состояния лесных экосистем Монгольской Народной Республики (методические рекомендации). Улан-Батор: ГУГК МНР. 31 с.

Леса Монгольской Народной Республики (география и типология). 1978. М.: Наука. 128 с.

Леса Монгольской Народной Республики (хозяйственное использование). 1980. М.: Наука. 148 с.

Медведев Я.М. 1884. К изучению о влиянии света на развитие древесных стволов // Лесной журнал. № 5-6. С. 326-373.

Методология оценки состояния и картографирования экосистем в экстремальных условиях. Пущино: НЦБИ РАН. 1993. 203 с.

Методы изучения лесных сообществ. 2002 / Ред. Е.Н. Андреева, И.Ю. Баккал, В.В. Горшков, И.В. Лянгузова, Е.А. Мазная, В.Ю. Нешатаев, В.Ю. Нешатаева, Н.И. Ставрова, В.Т. Ярмишко, М.А. Ярмишко. С-Пб.: НИИХимии СпбГУ. 240 с.

Убугунов В.Л., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Дробышев Ю.И., Убугунова В.И. 2017. Иссушение почв как показатель опустынивания лесостепных экосистем Баргузинской котловины // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3 (72). С. 20-35.

Экологический атлас бассейна озера Байкал. 2015. Иркутск: Издательство института географии им. В.Б. Сочавы. 145 с.

Цэдэндаш Г., Дугаржав Ч. 2004. Реликтовые лесные сообщества как индикаторы климатических изменений // Аридные экосистемы. Т. 10. № 24-25. С. 60-66.

DEFORESTATION IS ONE OF THE MOST MAJOR ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE BAIKAL LAKE BASIN

© 2017. P.D. Gunin*, S.N. Bazha*, B.Ts. Baldanov, T.G. Baskhaeva***, Yu.I. Drobyshev*, Ch. Dugarjav****, S.V. Kontsov*, V.L. Ubugunov**, V.I. Ubugunova**, S. Khadbaatar*****, E.G. Tsyrempilov****

**Institute for Ecology and Evolution of RAS*
Russia, 119071, Moscow, Leninsky Avenue, 33. E-mail: monexp@mail.ru
***Institute of General and Experimental Biology of SB RAS*
Russia, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy Str., 6. E-mail: ubugunovv@mail.ru
****Buriat State University*
Russia, 670000, Ulan-Ude, Smolina Str., 24a. E-mail: baskhaevatg@gmail.com
*****Institute of General and Experimental Biology of MAS*
Mongolia, 670040, Ulaanbaatar, Jukova Str., 77. E-mail: chdugaa@yahoo.com
******Mongol State University of Education*
Mongolia, 210648, Ulaanbaatar, Baga Toiruu Str., 14. E-mail: hadbaatar@mail.ru

In the article, the results of researches are presented on the state of vegetation and soil cover in forest-steppe landscapes of Russian and Mongolian parts of the Baikal Lake basin. The main causes of deforestation are discussed that associated with the moisture condition of soils and with replacement of forests by various species of shrubs.

Key words: deforestation, Baikal Lake basin, forest-steppe landscapes, soils' moisture, shrub successions.

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 3, с. 100-115

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 556.531.4

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ЯХРОМЫ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

© 2017 г. Н.В. Кузнецова

Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт
Россия, 141821, Московская обл., Дмитровский р-он, пос. Рыбное, д. 36
E-mail: natashak.82@mail.ru

Бассейн реки Яхромы отличается разнообразием ландшафтов и степенью хозяйственной освоенности, в связи с чем на протяжении реки прослеживаются различия в морфологии русла, гидрологических характеристиках, составе донных отложений и структуре сообществ зообентоса. Благодаря этим особенностям река Яхрома может служить модельным водоемом для исследования влияния различных видов хозяйственной деятельности на экосистемы малых рек. В работе представлены результаты исследований реки Яхромы, которые проводили в вегетационный период 2010-2015 гг. Дана пространственно-временная динамика основных гидрохимических показателей, а также материалы по содержанию в воде тяжелых металлов (Cu, Cd, Ni, Pb и Zn, Mn). Установлено, что в своем верхнем течении река Яхрома практически не подвергается влиянию хозяйственной деятельности, а в среднем и особенно в нижнем течении экологическое состояние реки существенно ухудшают стоки с урбанизированных и аграрных территорий.

Ключевые слова: река, гидрохимический режим, тяжелые металлы, донные отложения, водная растительность.

Возникший в последние годы интерес к изучению малых рек определяется тем, что малые реки являются исходным структурно и функционально образующим компонентом водосбора региона, непосредственно определяющим гидрологическую, гидрохимическую и во многом биологическую специфику крупных водоемов. Малые реки тесно связаны с окружающими наземными экосистемами, хозяйственное освоение которых ведет к необратимым изменениям окружающей среды и негативно отражается на гидрологическом режиме и качестве воды малых рек, что позволяет судить о состоянии территорий площадью до сотен квадратных километров. Поступающие в малые реки различные сточные воды зачастую сопоставимы по своему объему с объемом стока самой малой реки (Крылов, 2006).

Север Подмосковья, Дмитровский район в частности, богат малыми реками, которые относятся к бассейну р. Волги и вносят свою толику воды в полноводную Волгу. Одной из таких малых рек является р. Яхрома, бассейн которой практически полностью располагается на территории Дмитровского района, отличающегося разнообразием ландшафтов, что отразилось на морфологии и гидрологии реки.

Река Яхрома при длине в 78 км имеет площадь бассейна 1437 км^2 (Вагнер, 2006) и, согласно принятой типологии, относится к малым рекам (Михайлов и др., 2007). Исток ее, расположенный на склонах Клинско-Дмитровской гряды, представляет собой место слияния двух ручьев, вытекающих из оврагов; летом реку питает множество родников (Вагнер, 2006). В верховьях река течет на север по узкой долине, течение быстрое – 0.5-0.6 м/с. В период половодья местами сильно разливается, протекая по глубокой лесистой местности. В 2 км от истока ширина русла колеблется от 2 до 4 метров, глубина незначительна – 0.3-1 м. Иногда ее крутые берега обрывисты и достигают внушительной высоты. В своем верхнем течении Яхрома находится в стадии морфологической молодости и часто именуется Верхней Яхромой, длина которой составляет 29 м.

Непосредственно перед каналом имени Москвы река зарегулирована плотиной Яхромского водохранилища, а в зоне подпора при ширине русла 6.3 м и глубине 1 м становится более полноводной.

Из Яхромского водохранилища река дюкером под каналом выводится на противоположную сторону канала и небольшим ручьем течет до места, где в нее впадает река Волгуша с собственным притоком – р. Икшанкой, которые делают Яхрому более полноводной; Яхрома приобретает характер равнинной реки. Уже с этого участка русла на протяжении всего среднего течения она оказывается в условиях существенного антропогенного загрязнения в виде ливневых стоков с автодорог и урбанизированных территорий, сточных вод (зачастую недоочищенных) очистных сооружений п. Деденево, городов Яхромы и Дмитрова.

В своем нижнем течении р. Яхрома протекает по обширной, до 8 км шириной, заторфованной котловине – «Яхромской пойме», по спрямленному руслу «новой Яхромы». Старое русло, заросшее камышом и местами высохшее, сперва огибает пойму по краю и, повернув, впадает в новое русло в районе с. Куликово. Помимо нескольких незначительных притоков, которые важны для питании реки главным образом в половодье, р. Яхрома в пределах поймы принимает дренажно-коллекторные воды с мелиорированных земель поймы, занятых агроценозами интенсивной технологии.

Таким образом, от своих истоков до устья эта малая река протекает в разных природных условиях, на которые накладывается антропогенное воздействие с изменяющимися на отдельных участках русла характером и интенсивностью.

Благодаря этим особенностям р. Яхрома может служить модельным водоемом для исследования влияния разных видов хозяйственной деятельности на экосистемы малых рек. Это определило наш интерес к экологическим исследованиям Яхромы, сведения по которой весьма малочисленны. В период 2010-2015 гг. были проведены детальные исследования экосистемы реки Яхромы, отдельные результаты которых представлены в настоящей работе.

Материалы и методы

Материал, положенный в основу работы, получен во время полевых исследований реки Яхромы в вегетационные периоды 2010-2015 гг. и камеральной обработки материалов. Исследования проводились от истоков до устья реки по 8 мониторинговым станциям и в своей совокупности призваны отражать исследуемые характеристики для реки и выделенных 4 участков (рис. 1). Первый участок характеризуют станции с 1 по 4.

1 станция. Здесь река протекает по лесу, в условиях видимого отсутствия антропогенного воздействия, при средней ширине русла 2 м и глубине не более 30 см скорость течения составляет 0.6 м/с. Грунт представлен крупнозернистым песком с галькой. Водная растительность отсутствует.

2 станция расположена примерно в 4 км от истока. Средняя ширина русла 4.5 м, глубина 30-40 см, скорость течения 0.5 м/с. Дно также представлено крупнозернистым песком. Водная растительность умеренно развита.

3 станция расположена в зоне подпора реки Яхромским водохранилищем, в районе курорта Сорочаны. При средней ширине русла 6.3 м и глубине 1.1 м скорость течения – 0.1 м/с, дно илистое. Водная растительность развита. Река протекает по территории, освоенной под коттеджные поселки и спортивно-рекреационные комплексы.

4 станция установлена в месте впадения р. Волгуши, которая существенно увеличивает сток р. Яхромы. Средняя ширина русла 6.2 м, глубина 1.3 м, а скорость течения 0 3 м/с, дно песчаное. Водная растительность развита. Территория занята поселениями, садово-огородническими участками и автодорогами.

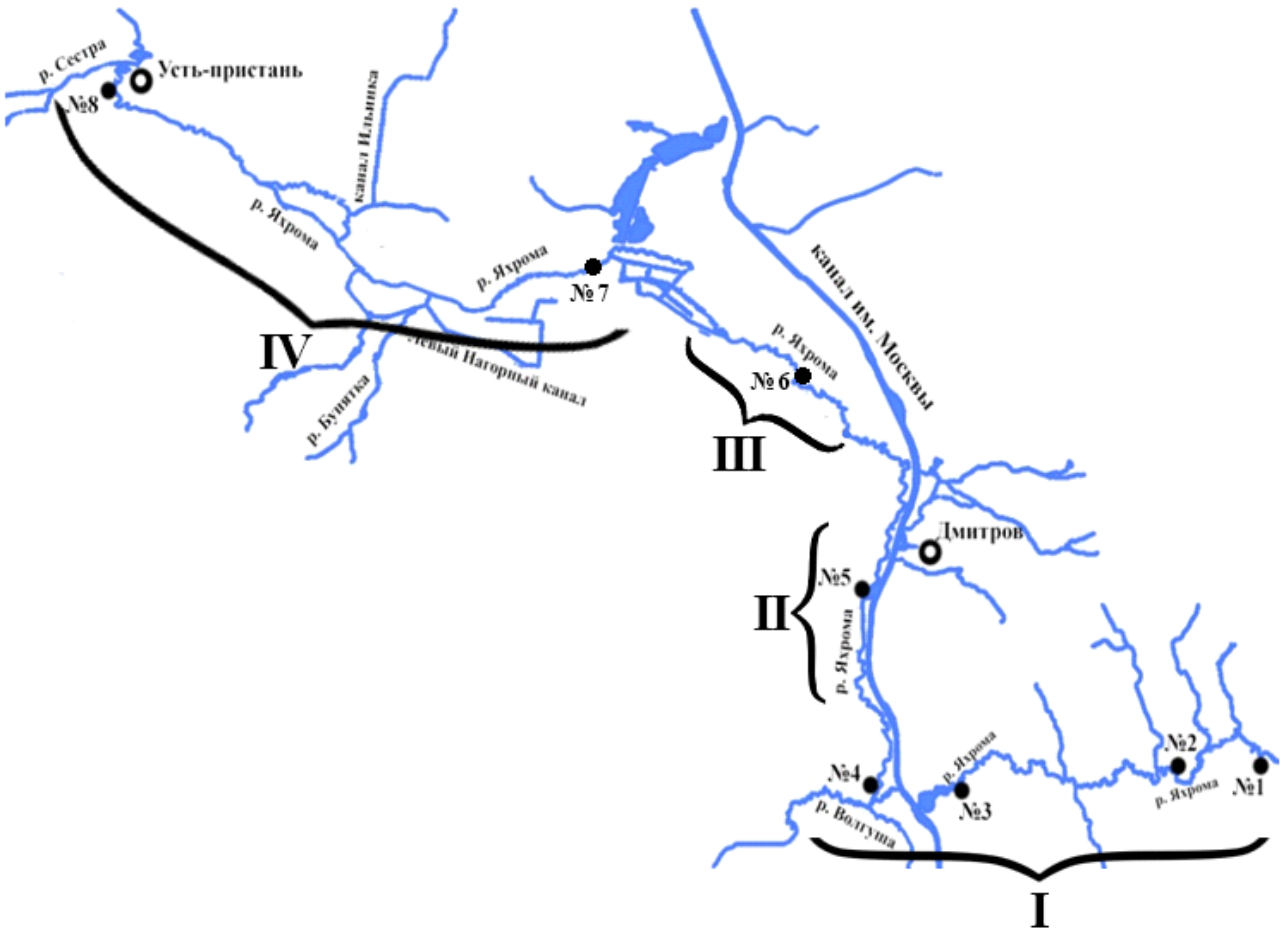


Рис. 1. Схема расположения станций на реке Яхроме. **Fig. 1.** Locations of observation stations on the river Yakhroma.

5 станция находится в районе г. Яхрома и лишь частично характеризует условия 2-го участка. Средняя ширина русла 7.7 м, глубина 50 см, скорость течения 0.9 м/с, дно песчано-каменистое, местами илистое. Водная растительность слабо развита. Для прилегающей территории характерно интенсивное движение автотранспорта и несанкционированный сброс сточных вод.

6 станция в значительной мере характеризует 3-ий участок реки и располагается ниже г. Дмитрова, перед вхождением реки в Яхромскую пойму. Средняя ширина русла составляет 7.5 м, глубина 1.1 м, скорость течения 0.25 м/с, дно илистое. Водная растительность умеренно развита. На этом участке в реку поступают стоки с очистных сооружений г. Дмитрова и периодические несанкционированно сбрасываемые с предприятий неочищенные сточные воды (по-видимому, смешанные производственно-бытовые). Имеет место и загрязнение реки бытовыми отходами.

7 и 8 станции принадлежат 4-му участку, который занимает нижнее течение реки в пределах мелиорированной Яхромской поймы и предустьевого участка.

7 станция – участок спрямленного и расширенного русла, где река принимает коллекторные воды с мелиорированной территории поймы. Ширина русла 18 м, глубина 1.1 м, скорость течения 0.2 м/с, дно илистое. Водная растительность развита хорошо.

8 станция расположена в предустьевом участке реки (д. Усть-Пристань). Средняя

ширина русла 10.6 м, глубина 1.53 м, скорость течения 0.2 м/с, дно илистое. Водная растительность обильно развита. Высока вероятность загрязнения реки с территории поселений.

На каждой станции измеряли температуру воды, pH и общую минерализацию с помощью портативного pH-метра Hanna, содержание растворенного в воде кислорода – термооксиметром МАРК 2. Отбор проб воды для гидрохимического анализа проводили в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 … (2010).

Химические анализы воды по показателям: азот аммонийный, нитриты, нитраты, фосфаты, перманганатная окисляемость, хлориды, общая жесткость, сульфаты – проводили по аттестованным методикам (Новиков, Ласточкин, 1990).

На основании данных химических анализов воды р. Яхромы был проведен расчет индекса загрязненности вод (ИЗВ), по которому определяется класс качества воды (Методические рекомендации …, 1988).

ИЗВ рассчитывали по формуле:

$$ИЗВ = \frac{\sum_{1}^{6} \frac{Ci}{ПДКi}}{6} \quad (1),$$

где C_i – среднее за год значение i-го показателя, а *ПДКi* – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества.

Определение содержания нефтепродуктов проводили по аттестованной методике – экстракционно-фотометрическим методом на анализаторе содержания нефтепродуктов «АН-2» (Методика измерений массовой концентрации …, 2011).

Вода и донные отложения подвергли анализу на содержание тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni). Анализы выполнены методом атомно-абсорбционной спектрометрии, основанном на способности свободных невозбужденных атомов поглощать (абсорбировать) свет строго определенных и специфических для каждого типа атомов длин волн. Анализ образцов на содержание тяжелых металлов проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре «КВАНТ-2А».

Результаты и обсуждения

Вдоль русла реки Яхромы гидрохимические показатели воды изменялись в зависимости от типа и интенсивности антропогенного воздействия.

Режим растворенного в воде кислорода. Режим растворенных газов в реке обусловлен изменением в течение года температуры воды, интенсивности процессов фотосинтеза и окисления органического вещества, питания реки, скорости течения, объема водного стока (Экосистема малой реки …, 2007).

Для р. Яхромы в вегетационный период в целом характерен благоприятный кислородный режим. Весной на всем протяжении реки отмечались максимальные для вегетационного сезона величины содержания растворенного в воде кислорода, которое не опускалось ниже 9 мгO_2/дм^3 (9.1-9.6 мгO_2/дм^3), лишь на 4-ом участке концентрации кислорода были несколько ниже – 7.6-8.1 мгO_2/дм^3 (рис. 2). Летом в пределах 1-2 участков реки содержание кислорода оставалось в пределах 8.4-9.2 мгO_2/дм^3. На 3-ем участке этот показатель снизился до 7.3 мгO_2/дм^3, однако зачастую содержание в воде кислорода резко падает, когда одноименный ручей привносит в реку неочищенные сточные воды с очистных сооружений г. Яхромы. В пределах 4-го участка содержание кислорода в воде составило 6.3-6.5 мгO_2/дм^3. Осенние показатели в пределах 1-2 участков лишь немногим уступают весенним, но несколько превышают летние, имея по сравнению с ними большую выравненность. Для 3-4 участков показатели по кислороду практически идентичны летним.

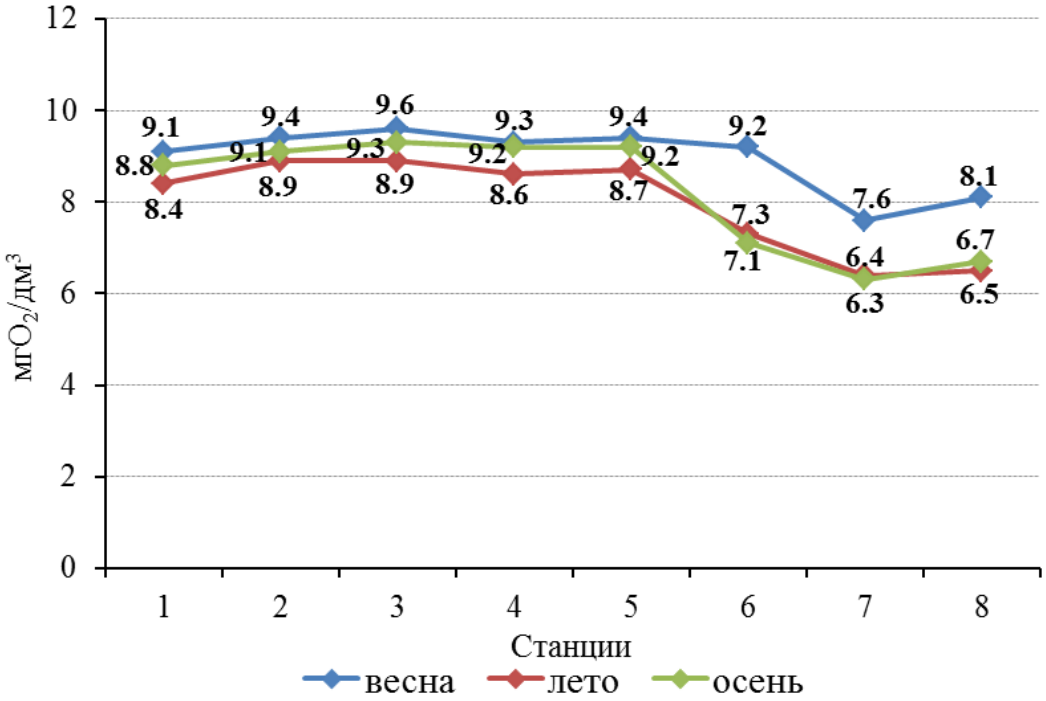


Рис. 2. Значения растворенного кислорода в воде р. Яхромы (мгO_2/дм^3). **Fig. 2.** Math values of the oxygen, dissolved in the river Yakhroma's water (mgO_2/dm^3).

Перманганатная окисляемость. Природные воды всегда содержат то или иное количество органического вещества, образовавшегося в водоеме и поступившего с водосбора, а также со сточными водами. Перманганатная окисляемость характеризует содержание в воде легко окисляемых органических веществ и позволяет судить о степени органического загрязнения вод. Величина перманганатной окисляемости равнинных рек, не подвергающихся значительному органическому загрязнению, колеблется в пределах 5-12 мгO_2/дм^3 (Новиков, Ласточкин, 1990).

За время исследований р. Яхромы в вегетационный период перманганатная окисляемость воды колебалась в широких пределах – от 1.2 мгO_2/дм^3 во время половодья в истоках до 11.5 мгO_2/дм^3 в предустьевом участке.

Первый участок в вегетационный период характеризовался относительно малыми показателями окисляемости воды – в пределах 1.1-3.5 мгO_2/дм^3 (рис. 3), что определяется не только относительно высокими скоростями течения и характером донных отложений, но и малым наличием источников органического загрязнения на водосборе. На этом участке средняя окисляемость возрастает с 1.2-1.7 мгO_2/дм^3 в половодье до 1.6-3.2 мгO_2/дм^3 в межень, но осенью благодаря осадкам понижается до 1.1-2.3 мгO_2/дм^3, лишь в истоках оставаясь на уровне 3.5 мгO_2/дм^3. Ниже по течению окисляемость воды в реке начинает увеличиваться. На 2-ом участке в пределах города весной и летом окисляемость была в 3.0-3.2 мгO_2/дм^3, осенью снизилась до 2.5 мгO_2/дм^3. Вероятно, спрямленное русло и относительно более высокая скорость течения способствовали сохранению низких показателей окисляемости.

Ниже по течению, на 3-ем участке, весной перманганатная окисляемость лишь немногим превышала этот показатель для 2-го участка, но летом возросла до 4.3 мгO_2/дм^3, а осенью снизилась до 2.5 мгO_2/дм^3. Столь низкие величины окисляемости на участке реки с весьма явным антропогенным загрязнением, вероятно, объясняются активным участием в процессах самоочищения реки макрофитов, имеющих здесь большое количественное развитие.

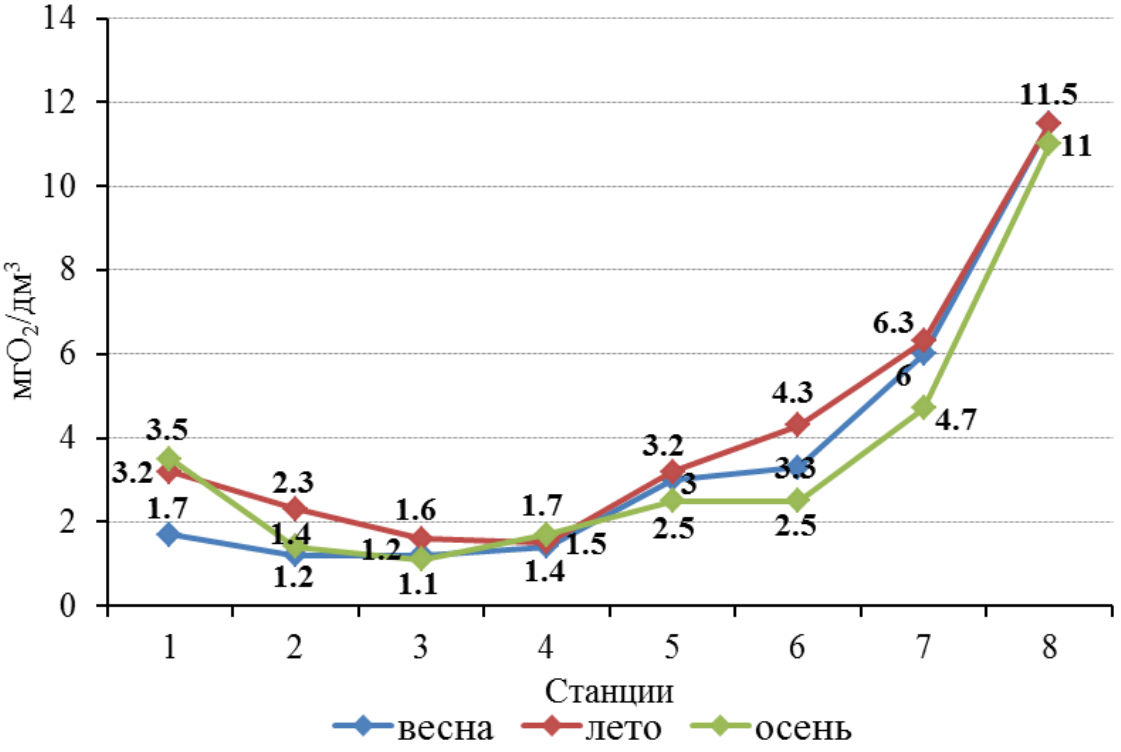


Рис. 3. Значения перманганатной окисляемости в воде р. Яхромы. **Fig. 3.** Math values of the permanganate oxidation in the river Yakhroma's water.

Совершенно иная картина сложилась на участке реки в пределах Яхромской поймы: в зоне влияния дренажно-коллекторных стоков максимальные величины перманганатной окисляемости отмечались летом – 6.3 мгO_2/дм^3, осенью они снизились до 4.7 мгO_2/дм^3, но весной вновь возросли до 6.0 мгO_2/дм^3. Относительно высокие величины окисляемости связаны с влиянием стоков с агроценозов. Максимальные величины перманганатной окисляемости отмечались в предустьевом участке реки – 11.0-11.5 мгO_2/дм^3, что, вероятно, связано с органическими загрязнениями с территорий близлежащих животноводческих ферм. В целом для р. Яхромы загрязнение легко окисляемым органическим веществом незначительное, если учесть, что перманганатная окисляемость равнинных рек, не подвергающихся значительному органическому загрязнению, бывает в пределах 5-12 мгO_2/дм^3 (Новиков, Ласточкин, 1990).

Минерализация и pH. На большей части Московского региона вода в малых реках имеет гидрокарбонатно-кальциевый состав с минерализацией 0.4-0.5 г/дм^3 (Экологическое состояние …, 2003).

Вода р. Яхромы относится к водам со средней минерализацией, по соотношению основных ионов к гидрокарбонатному классу группы кальция. На протяжении всего периода исследования средняя минерализация воды по отдельным участкам реки колебалась в пределах 400-590 мг/дм^3 (рис. 4).

Минимальная величина минерализации воды характерна для истоков реки, далее по течению минерализация возрастает, имея максимальные значения в пределах урбанизированной территории и мелиорированной Яхромской поймы. Возрастание минерализации воды в среднем и нижнем течении реки шло за счет увеличения содержания сульфат-ионов и хлор-ионов, поступающих со сточными водами городов Яхрома и Дмитров. С территории мелиорированной поймы, занятой агроценозами и поселениями, дренажные воды и поверхностный сток также поставляют сульфат- и хлор-ионы.

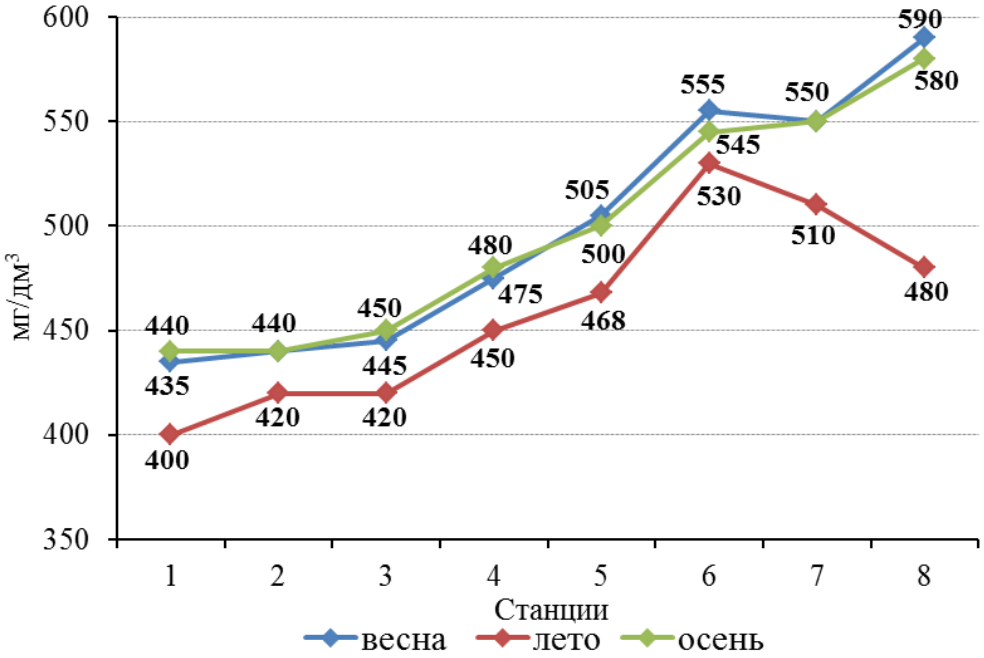


Рис. 4. Минерализация воды р. Яхромы. **Fig. 4.** An average mineralization of the river Yakhroma's water.

В сезонном аспекте летом можно наблюдать более низкие величины минерализации воды в реке. В весенние и осенние периоды минерализация возрастает на всем протяжении реки практически одинаково для обоих сезонов.

В годы исследований содержание хлор-ионов в воде р. Яхромы в вегетационный период было в пределах 10.3-50.5 мг/дм^3, при этом значительных различий по годам не прослеживалось (рис. 5).

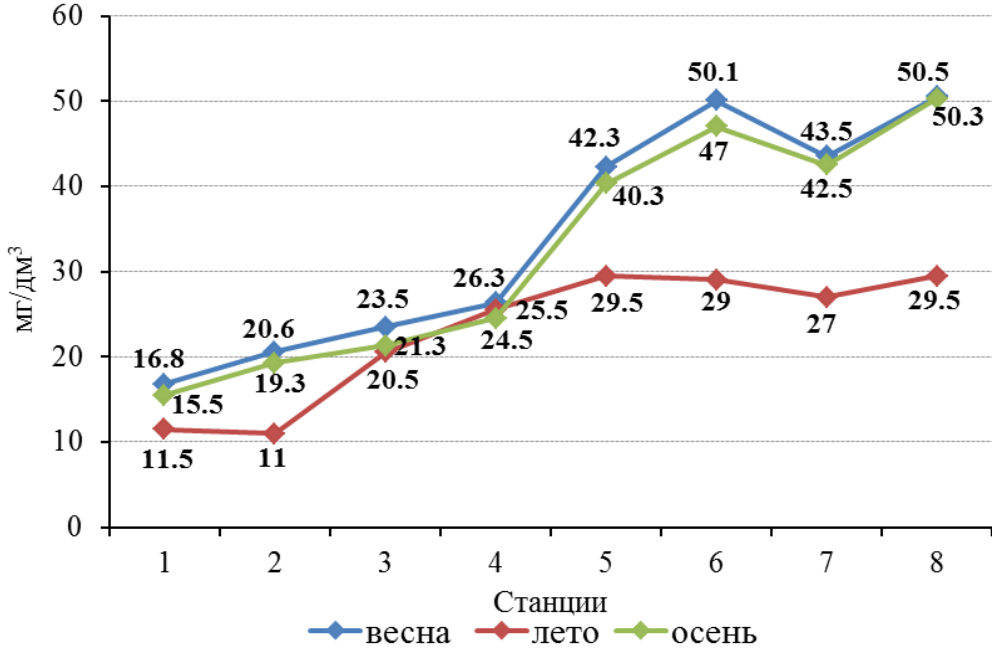


Рис. 5. Содержание хлоридов в воде р. Яхромы. **Fig. 5.** Chlorides content in the river Yakhroma's water.

Максимальные величины характерны для нижнего течения за весь период исследований. Летом при росте концентрации хлор-иона от истоков к устью даже в нижнем течении реки содержание его не поднималось выше 29 мг/дм^3. Весной и осенью концентрации хлор-иона в воде уже в верхнем течении выше, чем летом, и вниз по течению прослеживается возрастание содержания его с максимумом в пределах нижнего течения; вероятно, это связано с тем, что хлор-ион почти полностью остается в составе речной воды, так как не образует труднорастворимых солей с обычно присутствующими в речной воде катионами, не накапливается биогенным путем и не сорбируется (Экосистема малой реки …, 2007).

Средние за период наблюдений концентрации сульфатов в воде р. Яхромы составляли 8-61 мг/дм^3 при минимальных значениях в верховье реки и максимальных в нижнем течении за весь период наблюдений (рис. 6).

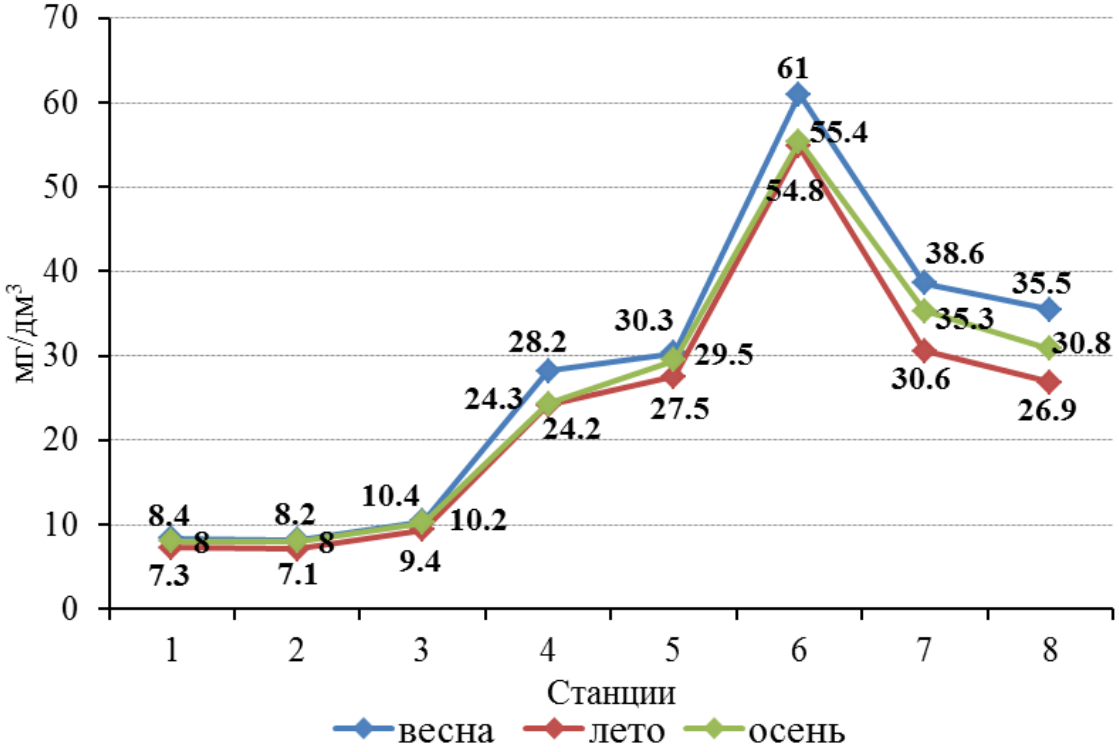


Рис. 6. Содержание сульфатов в воде р. Яхрома. **Fig. 6.** Sulphates content in the river Yakhroma's water.

Максимальными концентрациями сульфатов в воде в течение всего периода вегетации (в пределах 54.8-61 мг/дм^3) выделяется участок реки в месте впадения р. Березовец, которая принимает сточные воды с очистных сооружений г. Дмитрова.

В пределах Яхромской поймы содержание сульфатов в воде заметно снижается. Значимых различий в содержании сульфатов в воде в сезонном аспекте не наблюдалось.

Вода в реке Яхрома имеет слабощелочную реакцию pH (в пределах 7.5-8.4) с тенденцией к снижению величины pH во время весеннего половодья, что характерно для малых рек Подмосковья. Максимальные величины pH отмечались в осенний период в зоне подпора водохранилищем и на третьем участке в районе сброса вод с очистных сооружений канализации г. Дмитрова.

Жесткость воды. В своей работе Б.Б. Вагнер и И.В. Клевкова (2003) отмечают, что жесткость речных вод в Подмосковье изменяется от 1.5 ммоль/л весной до 3-5 ммоль/л в

летнюю межень и до 6-7 ммоль/л в зимний период.

По величине общей жесткости различают воду: очень мягкая (до 1.5 ммоль/л), мягкая (1.5-4 ммоль/л), средней жесткости (4-8 ммоль/л), жесткая (более 8 12 ммоль/л), очень жесткая (более 12 ммоль/л).

Река Яхрома отличается от других рек Подмосковья относительно большими величинами жесткости воды. Весной в период большой воды жесткость на разных участках р. Яхромы держалась в пределах 6.2-7.8 ммоль/л, что соответствует средней жесткости. В летний и осенний периоды жесткость воды в реке была в пределах 6.4-8.4 ммоль/л. Меньшие показатели жесткости воды (6.4-7.2 ммоль/л) наблюдали на 1-ом участке, а ниже по течению, в пределах урбанизированных территорий г. Яхромы, г. Дмитрова и других поселений, показатели жесткости воды увеличились до 8-8.4 ммоль/л, что соответствует жесткой воде. На 4-ом участке, в пределах мелиорированной Яхромской поймы, жесткость оставалась на уровне 7.8-8.0 ммоль/л. Река Яхрома при выходе с мелиорированной поймы в долину реки Сестры принимает стоки с заболоченной территории, что определяет снижение жесткости воды в предустьевом участке реки до 6.6-6.8 ммоль/л. В целом по приведенной ранее классификации вода реки Яхромы относится к водам со средней жесткостью.

Биогены. Для малых рек источником биогенных элементов являются сточные воды населенных мест, прежде всего стоки с очистных сооружений, а также с земель агроценозов с интенсивной агротехникой. В малых реках, куда стекают воды с пашен и сточные воды населенных мест, содержание нитратов может достигать 5-10 мг/дм^3. Для рыбохозяйственных водоемов предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратных ионов равна 40 мг/дм^3 (Нормативы качества воды водных объектов …, 2010).

Содержание нитритных ионов в речной воде более низкое, чем нитратных (до 0.01 мг/дм^3), и только в загрязненных реках оно может повыситься до 0.05 мг/дм^3, редко выше. ПДК нитритных ионов для рыбохозяйственных водоемов равно 0.08 мг/дм^3.

Для водных объектов рыбохозяйственного назначения предельно допустимая концентрация (ПДК) ионов аммония 0.5 мг/дм^3. Увеличение концентрации аммонийного азота обычно является показателем свежего загрязнения. Концентрация неорганических соединений фосфора в реке обычно не превышает 0.05-0.1 мг/дм^3 (Моржухина, 2000).

Воздействие факторов, определяющих содержание минерального азота и фосфора в реке, изменчиво во времени и пространстве, потому в годы наших исследований режим биогенов в р. Яхроме различался, особенно в пределах урбанизированной и сельскохозяйственной территорий.

За вегетационный период концентрация ионов аммония в воде на всем протяжении первого участка р. Яхромы изменялась незначительно и держалась в пределах 0.1-0.4 мг/л, концентрация нитрит-ионов была на уровне 0.008-0.03 мг/л. Заметных различий между этими показателями по годам не отмечено.

Столь пониженные значения концентрации ионов аммония и нитрит-ионов на первом участке реки Яхромы определяются практически полным отсутствием органического загрязнения данного участка.

Содержание нитрат-ионов в воде на первом участке в основном незначительное – в пределах 3.0-10.0 мг/дм^3 (рис. 7) при максимуме весной, что, вероятно, связано с поступлением ливневого стока с приусадебных участков населенных пунктов.

Содержание фосфат-ионов в воде на первом участке реки весьма незначительное – в пределах от 0.01-0.03 мг/дм^3 в истоках и до 0.03-0.08 мг/дм^3 в конце участка (рис. 8).

На втором участке реки лишь в самом его начале концентрация всех трех форм азота изменяется незначительно по сравнению с нижней третью первого участка, но уже в конце участка в условиях урбанизированной территории прослеживается их увеличение: аммонийного азота – 0.5-1.2 мг/дм^3, нитритов – 0.02-0.07 мг/дм^3, нитратов – при 5.0 мг/дм^3

весной, 25.0 и 23.0 мг/дм^3 летом и осенью соответственно.

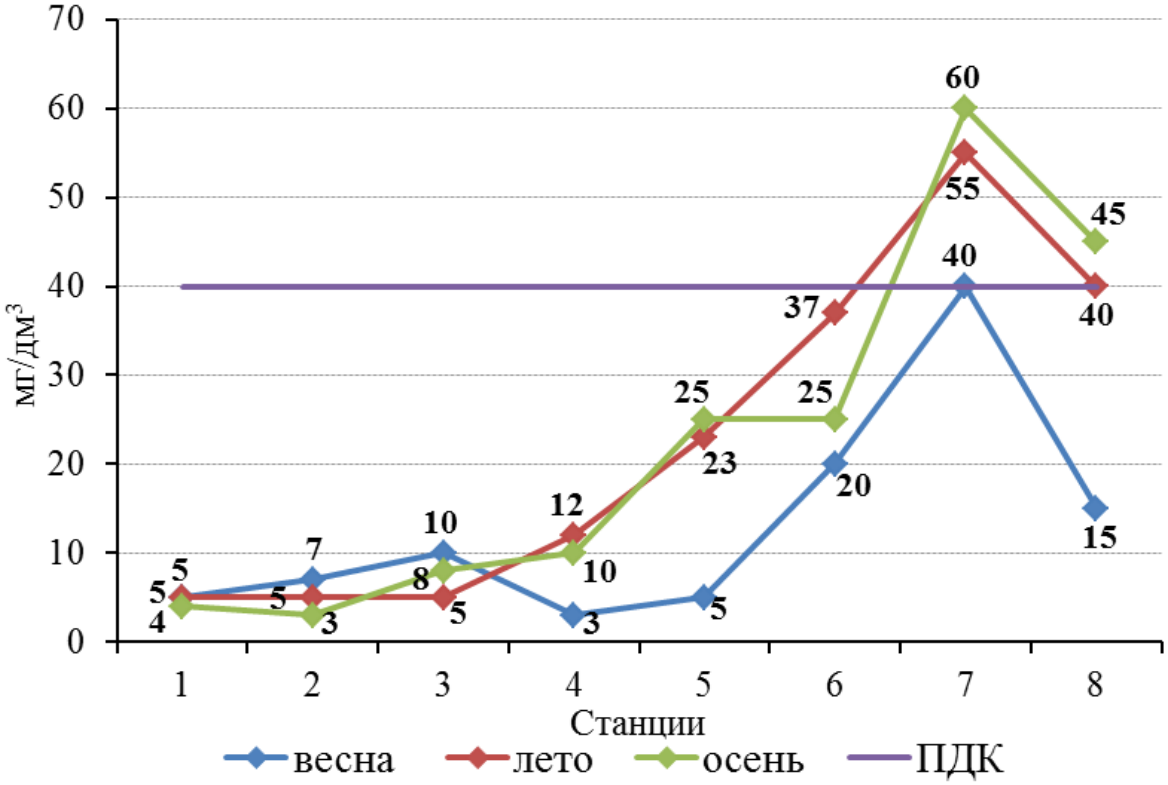


Рис. 7. Содержание нитрат-ионов в воде р. Яхромы. **Fig. 7.** Oil products content in the river Yakhroma's water.

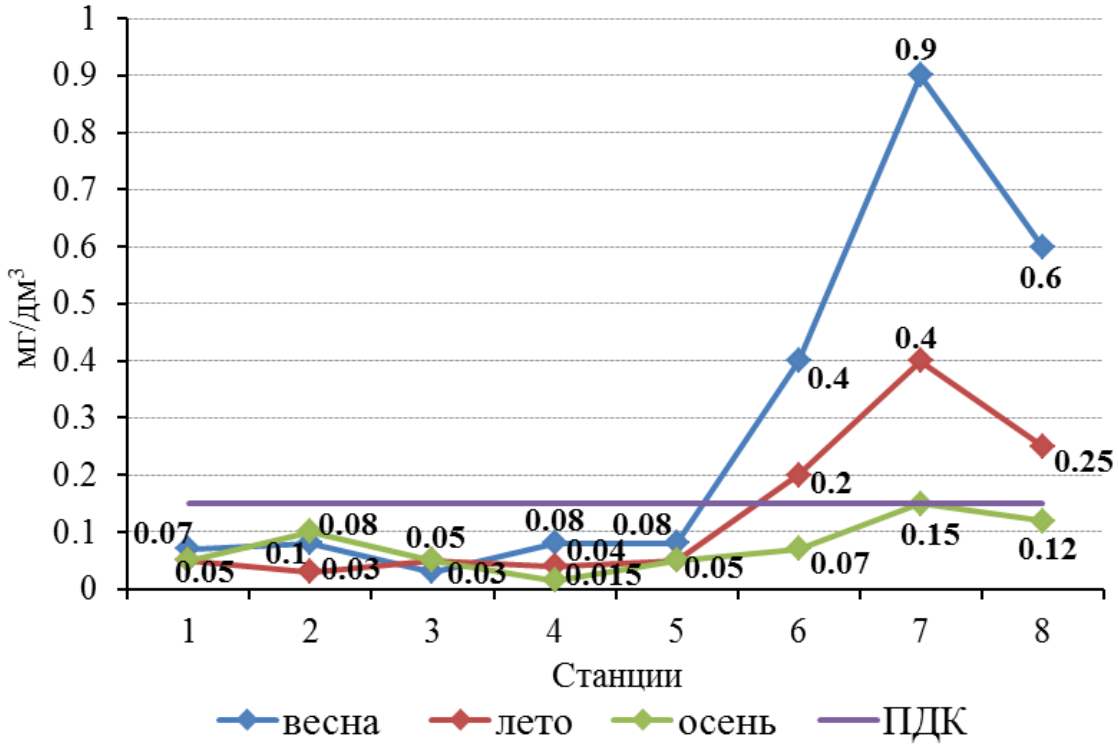


Рис. 8. Содержание фосфат-ионов в воде р. Яхромы. **Fig. 8.** Phosphates content in the river Yakhroma's water.

Концентрация фосфат-ионов в воде на втором участке, как и на первом, была достаточно низка – в пределах 0.05-0.08 мг/дм^3 и не превышала ПДК.

В пределах третьего и четвертого участков р. Яхромы четко прослеживается пространственно-временная динамика минеральных форм азота и фосфора.

На третьем участке весной талые воды сходят с урбанизированной территории водосбора, в связи с чем установлено повышение концентрации в воде всех трех форм азота: ионов аммония 1.5 мг/дм^3, нитритов – 0.06 мг/дм^3, нитратов – 20.0 мг/дм^3. Летом в воде по-прежнему сохраняются относительно высокие концентрации ионов аммония – 1.4 мг/дм^3, содержание нитрит-ионов увеличивается до 0.1 мг/дм^3, нитрат-ионов – до 37.0 мг/дм^3. Здесь явно прослеживается влияние стоков с городских очистных сооружений, а также поступления рассредоточенного стока с территорий неканализированных сельских населенных пунктов. В частности, в стоках с очистных сооружений г. Дмитрова содержание нитратов в летний период было в пределах 73.2-76.6 мг/дм^3.

Содержание фосфат-ионов в пределах третьего участка реки по сравнению с верхним течением весной и летом возрастает на порядок, составляя 0.4 мг/дм^3 и 0.2 мг/дм^3 соответственно, но осенью снижаясь до 0.07 мг/дм^3. Полагаем, что столь относительно высокие концентрации фосфат-ионов в реке являются результатом поступления стоков с городских очистных сооружений. На 4-ом участке, в пределах мелиорированной поймы, дренажно-коллекторные и ливневые стоки с агроценозов определили высокие концентрации всех трех форм азота: ионов аммония 3-5 мг/дм^3 при максимуме осенью, нитритов – 0.06-0.2 мг/дм^3 при максимуме летом, нитратов от 40 мг/дм^3 весной до 60 мг/дм^3 осенью. Здесь же весной отмечена и максимальная концентрация фосфат-ионов в воде, равная 0.9 мг/дм^3; летом этот показатель снизился до 0.4 мг/дм^3, осенью – до 0.15 мг/дм^3. В предустьевой части концентрация всех трех форм азота была несколько ниже по сравнению с ними же, но выше по течению, в пределах мелиорированной поймы, при сохранении картины временной динамики.

Таким образом, пространственная динамика основных гидрохимических показателей позволяет судить о том, что р. Яхрома на первом и частично на втором участках протекает в условиях незначительного антропогенного воздействия, на третьем и особенно четвертом участках проявляются результаты антропогенного воздействия в виде стоков с урбанизированных территорий и агроценозов.

Содержание тяжелых металлов в воде. Загрязнение водных объектов тяжелыми металлами связано с их широким использованием в промышленности, особенно при неудовлетворительной очистке сточных вод, в результате чего тяжелые металлы попадают в водные экосистемы (Манихин, Никаноров, 2001).

По данным Н.А. Черных и М.М. Овчаренко (2002) известно, что миграция химических элементов в биосфере осуществляется и воздушным переносом. В атмосферном воздухе тяжелые металлы присутствуют в форме органических и неорганических соединений в виде пыли и аэрозолей. Основные механизмы поступления металлов из атмосферы на поверхность Земли – это осаждения с атмосферными осадками и сухие выпадения. Установлено, что в снеговых осадках накапливаются тяжелые металлы. Основная часть таких металлов, находящихся в снеговом покрове, растворяется в снеговой воде, то есть переходит в подвижную форму. В таком виде металлы попадают в поверхностные и подземные воды (Лыков, Шестакова, 2005).

Одним из главных источников поступления тяжелых металлов в водные экосистемы является диффузионный сток с агроценозов интенсивной агротехники, использующих удобрения и пестициды, в состав которых входят тяжелые металлы. Так, источником цинка и меди может быть навоз; свинца и никеля – фосфорные удобрения и известь; кадмия – фосфорные и калийные удобрения (Ревич, Авалиани, 2004). Общепризнано, что наибольшее

количество тяжелых металлов среди минеральных удобрений содержат фосфорные, наименьшее – азотные удобрения; калийные удобрения близки к азотным, но содержат примерно в 20 раз больше свинца (Черных, Овчаренко, 2002).

В литературе имеются конкретные примеры количественной оценки поступления тяжелых металлов с сельхозугодий. В частности, Т.И. Моисеенко (2009) приводит по материалам лизиметрических исследований на сельхозугодиях водосборной площади Иваньковского водохранилища оценку возможного выноса тяжелых металлов (марганец, медь, цинк, хром, никель, свинец) с речным стоком в водохранилище. Вынос металлов с пахотных сельхозугодий составляет 109.5 т для Zn, 3778 т для Cu, 1179 т для Mn.

В водных объектах тяжелые металлы присутствуют в трех формах: взвешенной, коллоидной и растворенной, последняя из которых представлена свободными ионами и растворимыми комплексными соединениями с органическими и неорганическими лигандами (Мур, Рамамурти, 1987).

Анализы пресных поверхностных вод на содержание тяжелых металлов не всегда дают полноценную оценку их загрязнения в связи с высокой динамичностью состава, дискретностью поступления загрязнителей, а также в связи с тем, что тяжелые металлы способны быстро переходить из растворенного состояния во взвесь (Линник, Набиванец, 1986).

Благодаря процессам адсорбции на взвешенных частицах и последующей их седиментации тяжелые металлы обладают активной способностью накапливаться в донных отложениях. Под влиянием физико-химических (снижение pH и окислительно-восстановительного потенциала на границе раздела фаз «донные отложения – вода», дефицит растворенного кислорода в водной толще и др.) и микробиологических процессов, протекающих в водоемах, донные отложения могут выступать в качестве потенциального источника вторичного загрязнения водной массы (Линник, 1999).

Отсутствие значимых различий в результатах анализов воды р. Яхромы на содержание ионов тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni), проведенных в период исследований, дает основание рассматривать пространственно-временную динамику тяжелых металлов в реке по осредненным величинам за период исследований (табл. 1).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в воде р. Яхромы (мг/дм^3). **Table 1.** Content of heavy metals in the river Yakhroma’s water.

Металл	I участок	II участок	III участок	IV участок	ПДК$_{рв}$
Cd	0-0.003	0.002-0.003	0.001-0.002	0.002-0.005	0.005
Pb	0-0.006	0.018-0.026	0.001-0.006	0.003-0.015	0.006
Cu	0-0.002	0.001-0.003	0-0.002	0.002-0.005	0.001
Zn	0.006-0.076	0.005-0.006	0.008-0.011	0.015-0.081	0.01
Ni	0-0.057	0.001-0.007	0-0.007	0-0.006	0.01

Содержание кадмия в поверхностных водах практически всегда незначительное и редко превышает ПДК$_{вр}$, равной 0.005 мг/дм^3 (Нормативы качества воды …, 2010). В пресноводных водоемах и реках содержание кадмия колеблется в пределах 0.0002-0.0004 мг/дм^3. Фоновое загрязнение поверхностных вод кадмием, по данным наблюдений в Волжско-Камском биосферном заповеднике в 2012 году составило 0.00016 мг/дм^3 (Обзор состояния …, 2013).

В р. Яхроме содержание кадмия в вегетационный период на всех исследуемых участках колебалось в пределах от нуля до 0.005 мг/дм^3. Минимальные концентрации кадмия

отмечались на первом участке (в течение всего вегетационного периода). В то же время, начиная со второго участка, в зоне влияния сточных вод с очистных сооружений г. Яхромы и ниже по течению вплоть до устья, содержание кадмия заметно возрастает, но не достигает $ПДК_{вр}$. Максимальная концентрация кадмия – 0.005 мг/дм^3 отмечена в пределах четвертого участка, в мелиорированной Яхромской пойме (табл. 1).

Содержание свинца в незагрязненных водах суши, как правило, не превышает 0.003 мг/дм^3 (Черных, Овчаренко, 2002). Фоновое загрязнение поверхностных вод свинцом, по данным наблюдений в Волжско-Камском биосферном заповеднике в 2012 году, составило 0.0015 мг/дм^3 (Обзор состояния …, 2013).

Содержание свинца в воде весной на рассматриваемых участках р. Яхромы колебалось в пределах 0-0.026 мг/дм^3 (табл. 1); на участке с песчаным дном в месте впадения р. Волгуши, характеризующимся песчаным дном и удаленностью от автодорог свинец в воде не отмечен. В начале первого участка реки концентрация свинца составила 0.002 мг/дм^3, ниже по течению в районе курорта Сорочаны она возросла до 0.006 мг/дм^3, что соответствует $ПДК_{вр}$ и определяется смывом с близко пролегающей автодороги. На втором участке реки после впадения ручья со сточными водами с очистных сооружений г. Яхромы содержание свинца в воде резко возросло до 0.026 мг/дм^3, что соответствует 5.1 $ПДК_{вр}$. В данном конкретном случае возрастание концентрации свинца в воде реки обусловлено не только влиянием сточных вод, но и автотранспорта. Доказательством этому служит значительно меньшее содержание свинца в воде – 0.006 мг/дм^3, на третьем участке реки в районе сброса вод с очистных сооружений г. Дмитрова, где отсутствует ливневый сток с автодороги. Ниже по течению уже в пределах мелиорированной Яхромской поймы содержание свинца не превышало $ПДК_{вр}$, но в предустьевом участке реки возросло до 0.015 мг/дм^3, что соответствует 2.5 $ПДК_{вр}$ и связано с поступлением ливневых вод с автодороги.

Летом содержание свинца на всех участках реки, за исключением второго участка в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Яхромы, снизилось по сравнению с весной и не превышало $ПДК_{вр}$, но при этом сохранялась относительная картина распределения содержания свинца по течению реки, отмеченная для весны. По-прежнему содержание свинца на этом участке относительно высокое – 0.02 мг/дм^3, что соответствует 4 $ПДК_{вр}$, в то же время на третьем участке в районе сброса вод с очистных сооружений г. Дмитрова содержание свинца снизилось почти в 5 раз по сравнению с весной. На четвертом участке в пределах мелиорированной Яхромской поймы содержание свинца было на уровне весенних показателей, в предустьевом участке реки снизилось в четыре раза – 0.004 мг/дм^3. Следовательно, влияние дренажных вод Яхромской поймы на загрязнение реки свинцом не проявляется, что объясняется возможностью перехода свинца в неподвижные формы или его адсорбцией на взвешенных частицах с последующим осаждением в донных отложениях коллекторов.

Содержание растворимых форм меди в незагрязненных пресных водах обычно колеблется от 0.5 до 1 мг/дм^3, возрастая до 2 мг/дм^3 в городских районах (Черных, Овчаренко, 2002). Содержание меди в воде весной на всем протяжении р. Яхромы колебалось в пределах 0.001-0.005 мг/дм^3, что соответствует 1-5 $ПДК_{вр}$ (табл. 1). Только на первом участке с крупнозернистым песком на дне содержание меди весной было почти в пределах $ПДК_{вр}$. Относительно большей концентрацией меди в воде отличался второй участок в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Яхромы, где содержание меди составило 0.003 мг/дм^3 или 3 $ПДК_{вр}$. Максимальная концентрация меди в воде отмечена на четвертом участке реки в пределах мелиорированной поймы (станция 7). На других участках содержание меди было практически одинаковым – в пределах 0.002 мг/дм^3.

В летний период картина пространственной динамики меди в воде реки иная. На первом участке содержание меди было весьма незначительным – в пределах 0.001 мг/дм^3. В начале

второго участка медь практически отсутствует, но уже в зоне влияния стока с очистных сооружения г. Яхромы ее обнаружено 0.003 мг/дм^3 (3 ПДК$_{вр}$).

Можно было предположить, что медь поступает со стоками очистных сооружений, однако на третьем участке реки в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Дмитрова медь в воде практически отсутствовала. Отсюда вероятнее предположение о том, что причиной относительно высокого содержания меди служат стоки с садово-огородных участков, широко представленных в пределах среднего течения реки. В пользу этого предположения служит факт высокого содержания меди на четвертом участке в пределах влияния стока дренажных вод с агроценозов Яхромской поймы – 0.003 мг/дм^3, что связано с использованием удобрений и пестицидов в агроценозах в период активной вегетации сельскохозяйственных культур. В приустьевом участке содержание меди падает до 0.002 мг/дм^3.

Осенью на первом участке медь в воде практически отсутствовала, но на втором и третьем участках в зоне влияния стока с очистных сооружений гг. Яхромы и Дмитрова ее концентрация соответствовала ПДК$_{рв}$. На четвертом участке реки в пределах мелиорированной Яхромской поймы осенью, как и в весенне-летний период, отмечаются относительно высокие концентрации меди в воде – 0.003 мг/дм^3, в приустьевом участке – 0.002 мг/дм^3.

Концентрация цинка в воде р. Яхромы весной превышала ПДК$_{вр}$ на большинстве исследуемых участков, за исключением второго участка в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Яхромы и третьего участка реки, где концентрация цинка в воде составила 0.005 и 0.008 мг/дм^3 соответственно (табл. 1).

Содержание цинка в воде на первом участке реки было в пределах 0.047-0.076 мг/дм^3, что соответствует 4.7-7.6 ПДК$_{вр}$, но уже в начале второго участка отмечается снижение концентрации цинка до 0.041 мг/дм^3 (4.1 ПДК$_{вр}$). На четвертом участке в пределах мелиорированной поймы весной в предустьевом участке содержание цинка вновь возрастает до 0.055 и до 0.081 мг/дм^3. Вероятно, это связано с влиянием агроценозов поймы.

В летний период в начале первого участка содержание цинка в воде заметно снизилось до 0.018 мг/дм^3, ниже по течению по-прежнему сохранялось высокое содержание цинка в воде – 0.063 мг/дм^3 (6.3 ПДК$_{вр}$), но в конце участка вновь снизилось до 0.011 мг/дм^3, что практически соответствует ПДК$_{вр}$. На втором и третьем участках в зонах влияния сточных вод очистных сооружений гг. Яхромы и Дмитрова концентрация цинка была минимальной для реки в летний период – 0.006 и 0.011 мг/дм^3 соответственно. Это дает основание утверждать, что сточные воды очистных сооружений не являются источником загрязнения цинком р. Яхромы. По-прежнему относительно высокие концентрации цинка, но существенно ниже, чем весной, наблюдаются на четвертом участке реки – 0.038 мг/дм^3 на участке влияния стока дренажных вод, 0.045 мг/дм^3 – в предустьевом участке. Полагаем, что и летом это связано с влиянием дренажных вод с агроценозов. Осенью концентрация цинка на первом участке осталась практически на уровне летней – в пределах 0.029-0.031 мг/дм^3. На втором участке при впадении р. Волгуши содержание цинка возросло более чем в 3 раза, составив 0.021 мг/дм^3. Возможно, это связано с поступлением цинка с ливневым стоком при прохождении дождей в осенний период. Ниже по течению в зоне влияния сточных вод очистных сооружений гг. Яхромы и Дмитрова содержание цинка в воде реки практически не изменилась по сравнению с летом. Заметно снизилось содержание цинка в воде на четвертом участке реки – до 0.015 мг/дм^3, что объясняется резким снижением его поступления с коллекторными водами. Осенью в магистральном канале при практическом отсутствии поступления в него цинка с коллекторными водами содержание цинка было в пределах 0.001-0.002 мг/дм^3. В целом в период вегетации на большинстве участков р. Яхромы от верховьев до устья отмечено превышение ПДК$_{вр}$ по цинку в воде.

Исходя из данных по гидрохимическому анализу, а также содержанию нефтепродуктов и

тяжелых металлов в воде р. Яхрома был рассчитан индекс загрязненности вод (ИЗВ), по которому определялся класс качества воды в водном объекте. Для верхнего течения реки на выходе из лесного массива определена минимальная величина ИЗВ, равная 1.1, что соответствует 3 классу качества воды (умеренно-загрязненные), но уже в конце первого участка среднее значение ИЗВ было 1.6, что соответствует 4 классу качества вод (загрязненные), на втором-третьем участках в пределах урбанизированной территории ИЗВ был в пределах 2.6-2.7, что соответствует 5 классу качества воды (грязные). На четвертом участке реки в пределах агроценозов Яхромской поймы ИЗВ составил 3.7, что соответствует 6 классу качества воды (очень грязные). В предустьевом участке реки ИЗВ снизился до 2.3 (5 класс качества воды).

Заключение

Пространственная динамика основных гидрохимических показателей дает основание утверждать, что лишь на протяжении первых трех километров от истоков р. Яхрома протекает в естественных природных условиях. Далее вниз по течению, уже на выходе из леса, на своем первом участке река протекает по территории, занятой малыми поселениями и развитой автодорожной сетью, что отразилось на гидрохимическом режиме реки – ИЗВ составил 1.1 (3 класс – умеренно-загрязненные воды), в пределах урбанизированной территории ИЗВ составил 2.6-2.7, что соответствует 5 классу качества воды (грязные), в пределах агроценозов Яхромской поймы ИЗВ – 3.7, что соответствует 6 классу качества воды (очень грязные). От истоков к устью в реке заметно возрастает минерализация воды (от 400-440 мг/дм^3 до 480-590 мг/дм^3), что связано, прежде всего, с возрастанием хлоридов и сульфатов. На участке реки в пределах урбанизированной территории прослеживалось загрязнение воды хлоридами, сульфатами и свинцом. В пределах мелиорированной Яхромской поймы отмечалось загрязнение воды в реке нитратами, фосфатами, а также превышение ПДК по свинцу, меди и цинку, что явно связано с активным использованием удобрений в агроценозах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вагнер Б.Б., Клевкова И.В. 2003. Реки Московского региона // Учебно-справочное пособие по курсу «География и экология Московского региона». М.: МГПУ. 244 с.

Вагнер Б.Б. 2006. Реки и озера Подмосковья. М.: Вече. 480 с.

ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб. 2010. Введен 2001-07-01. М.: Стандартинформ. [Электронный ресурс http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51592-2000].

Крылов А.В. 2006. Гидробиология малых рек. Рыбинск: Издательство ОАО «Рыбинский Дом печати». 110 с.

Линник П.Н., Набиванец Б.И. 1986. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоиздат. 272 с.

Линник П.Н. 1999. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов // Гидробиологический журнал. Т. 35. № 2. С. 97-109.

Лыков И.Н., Шестакова Г.А. 2005. Техногенные системы и экологический риск: Учебное пособие для вузов. М.: ИПЦ «Глобус». 262 с.

Манихин В.И., Никаноров А.М. 2001. Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат. 183 с.

Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в воде на анализаторе АН-2

АИП 2 840.056.1. 2011. СПб.: Нефтехимавтоматика-СПб. 15 с.

Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. 1988. М.: Госкомитет СССР по гидрометеорологии. 7 с.

Михайлов В.Н. Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. 2007. Гидрология: Учебник для вузов. 2 изд. испр. М.: Высшая школа. 463 с.

Моисеенко Т.И. 2009. Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука. 400 с.

Моржухина С.В. 2000. Геохимическая оценка загрязнения малых рек (на примере реки Сестра Московской области) // Автореферат диссертации на соискание … канд. хим. наук. М. 22 с.

Мур Дж.В., Рамамурти С. 1987. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М.: Мир. 286 с.

Новиков Ю.В., Ласточкин К.О. 1990. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина. 399 с.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. 2010. Приказ от 18 января 2010 года № 20. [Электронный ресурс http://docs.cntd.ru/document/902199367].

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 год. 2013. М.: Росгидромет. [Электронный ресурс http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/?year=2013&ID=90].

Ревич Б.А., Авалиани С.Л. 2004. Экологическая эпидемиология: Учебник для высших учебных заведений. М.: Академия. С. 189-213.

Черных Н.А., Овчаренко М.М. 2002. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. М.: Агроконсалт. 200 с.

Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья. 2003 / Ред. В.Г. Папченков. М.: Наука. 389 с.

Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды. 2007 / Ред. А.В. Крылов, А.А. Бобров. М.: Товарищество научное издание КНК. 372 с.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE RIVER YAKHROMA BY HYDROCHEMICAL INDICATORS

© 2017. N.V. Kuznetsova

Dmitrov Fish-Industry Technological Institute
Russia, 141821, Moscow Region, Dmitrov District, Rybnoye, 36. E-mail: natashak.82@mail.ru

The Yakhroma river basin is remarkable for its diverse landscapes and the level of economic development. Therefore there are distinctions over the river in its channel morphology, hydrological characteristics, composition of the bottom sediments and structure of zoobenthos communities. These features make Yakhroma a reservoir model which help to investigate the effect, caused by different economical activities on the ecosystems of small rivers. This paper presents the results of studies of the river Yakhroma, conducted during the growing seasons from 2010 to 2015. Spatial-temporal dynamics of the main hydro-chemical indicators, as well as materials on the content of heavy metals (Cu, Cd, Ni, Pb and Zn, Mn) in the water are given. It was found out that Yakhroma almost does not feel the impact of the economic activities in its upper flow; although in its middle and lower flows the river's ecological state significantly deteriorates because of the runoff from the urban and agricultural areas.

Keywords: river, hydrochemical regime, heavy metals, sediments, aquatic vegetation.

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 3, с. 116-145

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 528.88/581.9

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СТЕПНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ[1]

© 2017 г. Л.Ф. Спивак*, М.Ж. Батырбаева, И.С. Витковская**, Н.Р. Муратова***, А.Ф. Исламгулова****

**Государственный университет «Дубна»*
Россия, 141982, г. Дубна, Московская обл., ул. Университетская, д. 19
E-mail: levspivak@mail.ru

***Национальный центр космических исследований и технологий*
Казахстан, 050050, г. Алматы, ул. Шевченко, д. 15
E-mail: irinas_vit@mail.ru, madina-iki@mail.ru

****Научно-исследовательский институт проблем экологии КазНУ им. Аль-Фараби*
Казахстан, 050040, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, д. 71. E-mail: nmuratova@rambler.ru

Современные методы анализа вегетационных индексов, рассчитанных по данным спутниковой съемки, являются новым инструментом, обеспечивающим многолетнюю информацию о состоянии растительности, а также используемым при выявлении засух и определении результатов их воздействия. Объектом исследований являются спектральные характеристики и пространственно-временные особенности состояния растительного покрова степной зоны Казахстана, наиболее уязвимой к воздействию погодных и антропогенных факторов. Для выявления закономерностей их изменения в различных агроклиматических зонах, в том числе и при засушливых условиях, выбрана территория в виде трансекты, включившей все подзоны степной зоны. Проведенные исследования показывают усиление стрессового воздействия засушливых условий на растительный покров степной зоны Казахстана в период с 2000 по 2013 гг. Оценены изменения в растительном покрове различных подзон степной зоны в связи с ростом частоты засух и усиления пастбищной нагрузки. Отмечается большое разнообразие сценариев развития естественной растительности степей Казахстана в засушливых погодных условиях.

Ключевые слова: степная зона, растительный покров, дистанционное зондирование, спектральные образы растительности, вегетационные индексы.

Большая часть территории Республики Казахстан располагается в полуаридной и аридной зонах, где сосредоточен основной зерновой клин страны и пастбищные угодья. Степная зона охватывает более двух третей территории Республики. С одной стороны эти земли традиционно используются для сельскохозяйственного производства, чему способствуют благоприятные типы почвенного покрова, в основном черноземы и темно-каштановые почвы. С другой стороны недостаток увлажнения делает растительный покров чрезвычайно чувствительным к гидротермическим условиям.

Последнее десятилетие характеризуется возрастанием частоты засух, увеличением их интенсивности и территориального охвата, высокой степенью подверженности территории Казахстана опустыниванию, что отмечается особенно в степной зоне (III-VI Национальное

[1] Работа выполнена в рамках гранта «Разработать информационную технологию мониторинга и прогноза засух на основе многолетних рядов данных дистанционного зондирования территории Казахстана» по приоритету «Информационные и телекоммуникационные технологии» бюджетной программы 217 «Развитие науки», финансируемого МОН РК.

Сообщение …, 2013). Модели ожидаемого изменения климата, разработанные для территории Казахстана (Первое Национальное сообщение …, 1998; Бельгибаев, 2002), прогнозируют ухудшение условий увлажнения в регионе, при этом площади пустынь будут расширяться, а полупустынь и степной зоны – сокращаться. Согласно сценарию, при минимальном потеплении границы зон увлажнения сдвинутся к северу в среднем на 50-100 км, а при максимальном – на 350-400 км. Площадь зоны недостаточного увлажнения, где в Казахстане при современном климате выращивают зерновые культуры (степная зона), увеличится от 6 до 23%.

Негативное воздействие природных и антропогенных факторов в переходных к пустыням регионах проявляется в более сильной степени, а восстановление идет гораздо медленнее. Исследователи подчеркивают, что опустынивание субаридных экосистем в переходных зонах более ощутимо, чем в области настоящих пустынь, эволюционно адаптированных к экстраординарным условиям (Огарь, Брагина, 1999). В связи с этим степная зона Казахстана является наиболее уязвимой к воздействию засушливых условий, которые усиливают процессы аридизации и опустынивания.

В этой связи космический мониторинг степной и сухостепной зоны Казахстана представляет особый интерес. На современном этапе развития космических технологий спутниковая информация широко применяется для мониторинга состояния растительного покрова, выявления и мониторинга засушливых периодов с учетом их экстремальности, а также прогнозирования их изменчивости в рамках регионального и глобального масштабов (Черепанов, Дружинина, 2009; Gitelson et al., 1995; Золотокрылин, Виноградова, 2004; Kogan et al., 2003; Закарин и др., 1999; Отчет о НИР …, 2013). Предложено большое количество методов, основанных на спутниковых вегетационных индексах, являющихся дробно-линейными комбинациями спектральных каналов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра и позволяющих надежно и достоверно определять состояние естественной растительности и сельскохозяйственных культур.

Многолетние работы казахстанских ученых в области мониторинга растительного покрова внесли существенный вклад в развитие методов оценки состояния растительного покрова, определения его сезонных и многолетних изменений, распознавания и мониторинга засух (Закарин и др., 1999; Sultangazin et al., 2006; Propastin et al., 2007, 2008; Spivak et al., 2003, 2009, 2012; Muratova et al., 2011; Batyrbayeva et al., 2014; Bokusheva et al., 2016 и др.).

В рамках данной работы исследованы изменения спектральных характеристик растительного покрова степной зоны Казахстана под воздействием засушливых условий.

Объект исследования и исходные данные

Объектом исследований являются пространственно-временные изменения спектральных характеристик растительного покрова степной зоны Казахстана. Для выявления закономерностей их изменения в зависимости от состояния растительного покрова в различных агроклиматических зонах, в том числе и при засушливых условиях, выбрана территория в виде трансекты шириной 100 км и протяженностью 730 км (рис. 1).

Трансекта расположена на границе основных зерносеющих областей: Костанайской, Акмолинской, Северо-Казахстанской – и включает участки с естественной растительностью практически всех подзон степной зоны Казахстана: северную пустыню и степь, в том числе опустыненные степи; сухие степи, умеренно-сухие степи, засушливые степи, умеренно-засушливые степи и зону лесостепи.

Предполагалось, что изучение спектральных откликов именно естественной степной растительности Казахстана на воздействие засушливых условий позволит оценить их пространственно-временные вариации. Воздействие засушливых условий на культурную

растительность имеет свои особенности, обусловленные не только погодными условиями, но и агротехническими приемами на посевных землях (например, сроками сева, определяющими начало вегетационного сезона, и применением влагосберегающих технологий).

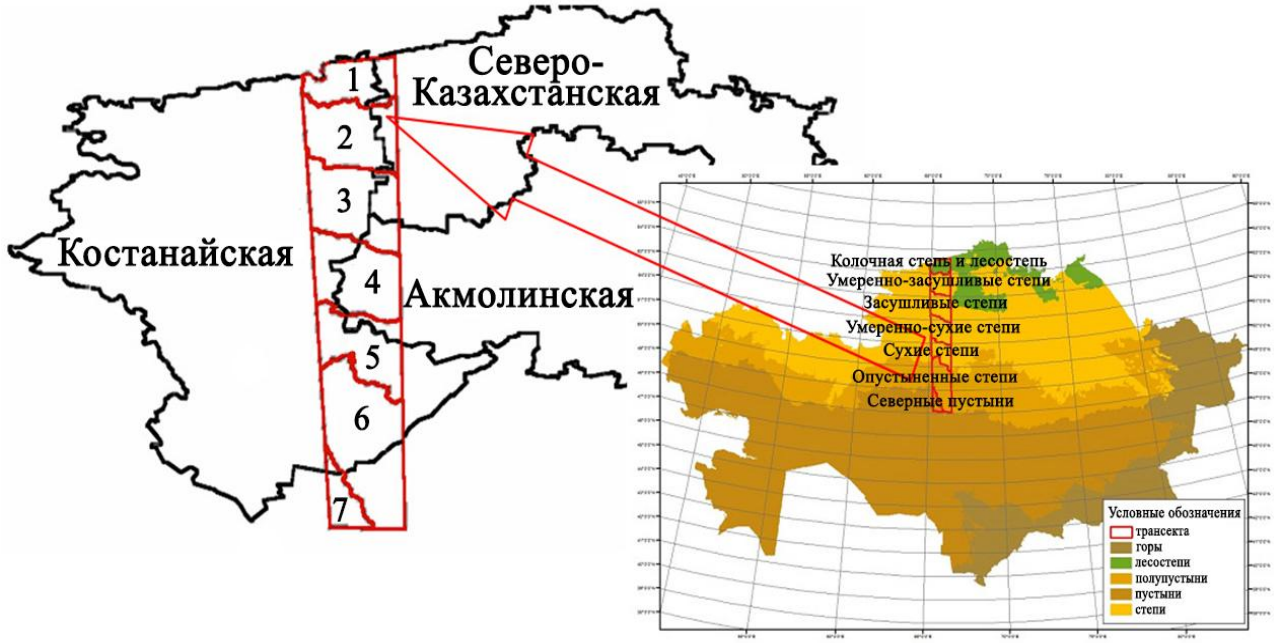


Рис. 1. Расположение трансекты и различных агроклиматических зон в ее границах. *Условные обозначения:* 1 – колочная степь и лесостепь, 2 – умеренно-засушливые степи, 3 – засушливые степи, 4 – умеренно-сухие степи, 5 – сухие степи, 6 – опустыненные степи, 7 – северные пустыни. **Fig. 1**. The location of transect and various agro-climatic zones within its boundaries. *Notes:* 1 – steppe with forest outliner and forest-steppe, 2 – moderately-arid steppes, 3 – arid steppes, 4 – moderately-dry steppes, 5 – dry steppes, 6 – desertified steppes, 7 – northern deserts.

Таким образом, для исследования механизмов воздействия засушливых условий на естественную растительность и выявления соответствующих признаков по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса в каждой подзоне степной зоны Казахстана выбраны тестовые участки (рис. 2). В исследуемых участках в направлении с севера на юг изменяется не только видовой состав растительных сообществ, но и повышается засухоустойчивость видов и возрастает число эфемероидов и эфемеров.

Для исключения воздействия пожаров, которые в той или иной степени могли изменить состояние и видовой состав растительных сообществ тестовых участков, привлекались снимки низкого пространственного разрешения спутников за вегетационные сезоны (апрель-сентябрь) 2000-2013 гг. Системы дистанционного зондирования Земли из космоса низкого пространственного разрешения, такие как NOAA/AVHRR или TERRA/MODIS, ежесуточно предоставляют космические снимки любых территорий, необходимых как для анализа текущего состояния подстилающей поверхности, так и выявления долговременных изменений.

Сегодня архив космоснимков NOAA содержит данные более чем за 30 последних лет, MODIS – с 2001 г. В работе использованы многолетние ряды данных различных спутниковых систем: NOAA, MODIS, LANDSAT, – обработанных с учетом алгоритмов

геометрической, радиометрической и атмосферной коррекций, рекомендуемых NASA. С помощью этих данных рассчитаны вегетационные индексы, выявлены соответствующие эпизоды пожаров и проведено картирование гарей.

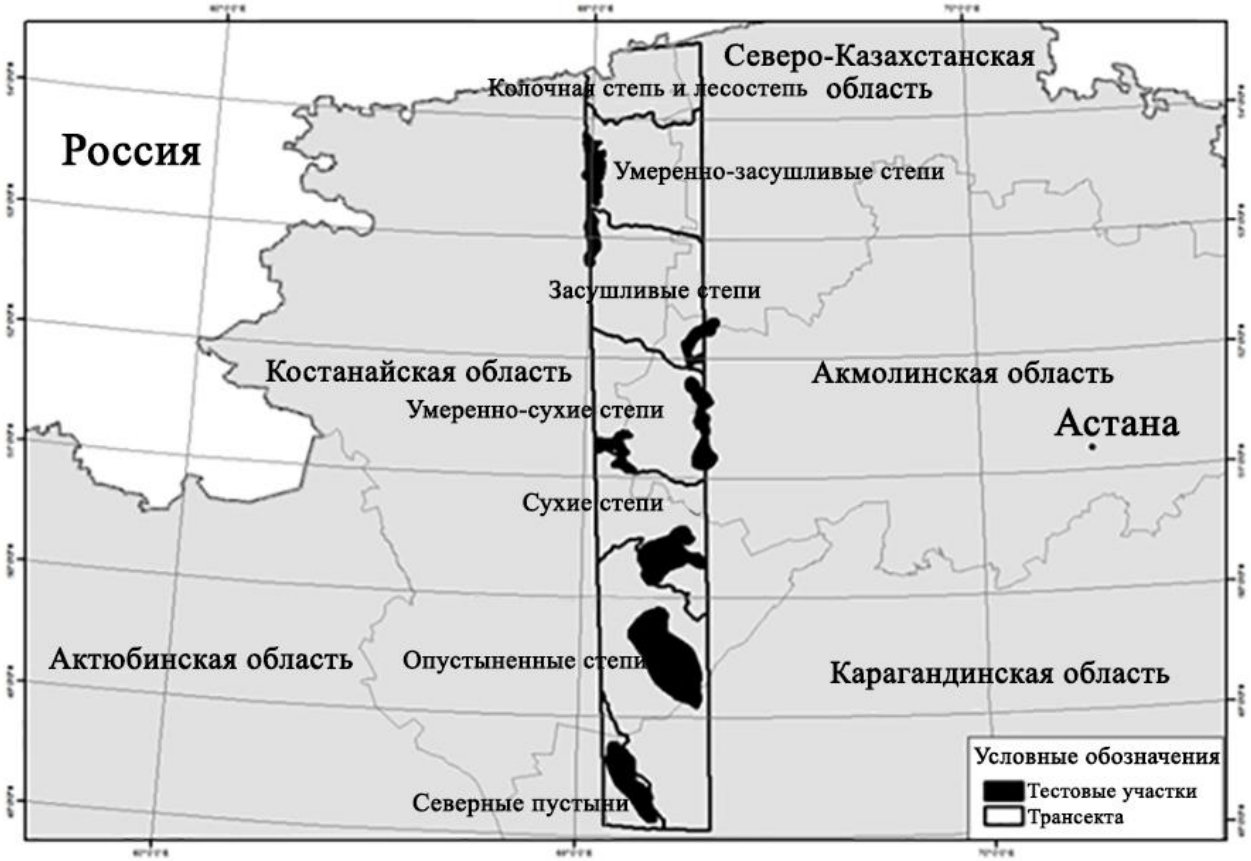


Рис. 2. Территория исследований. **Fig. 2**. Researched area.

Геоботаническое описание растительного покрова тестовых участков с естественным растительным покровом

Для понимания причин, вызывающих изменения растительного покрова засушливых областей, в основном изучались особенности засухоустойчивости растений, которые формируют сообщества в различных гидротермических условиях. Естественно, в первую очередь интерес представляют доминанты зональных сообществ, т.к. именно они обладают наибольшей адаптацией к засухе. В этой связи по каждому участку на основе имеющегося картографического материала (Карта экосистем …, 2005; Карта кормовых угодий …, 1978) и с помощью экспертного дешифрирования по спутниковым данным среднего пространственного разрешения LANDSAT созданы карты растительного покрова и даны следующие описания видового состава.

Тестовый участок № 1 расположен в подзоне умеренно-засушливых степей. Растительный покров тестового участка № 1 включает несколько типов растительных сообществ, приуроченных к различным почвам, рельефу, степени засоленности почв.

На плоских равнинах на карбонатных обыкновенных черноземах преобладают богаторазнотравно-типчаково-красноковыльные сообщества с ковылем Коржинского (*Stipa zalesskii, S. korshinskyi, S. lessingiana, Festuca valesiaca, Onobrychis sibirica*; рис. 3, зона 1).

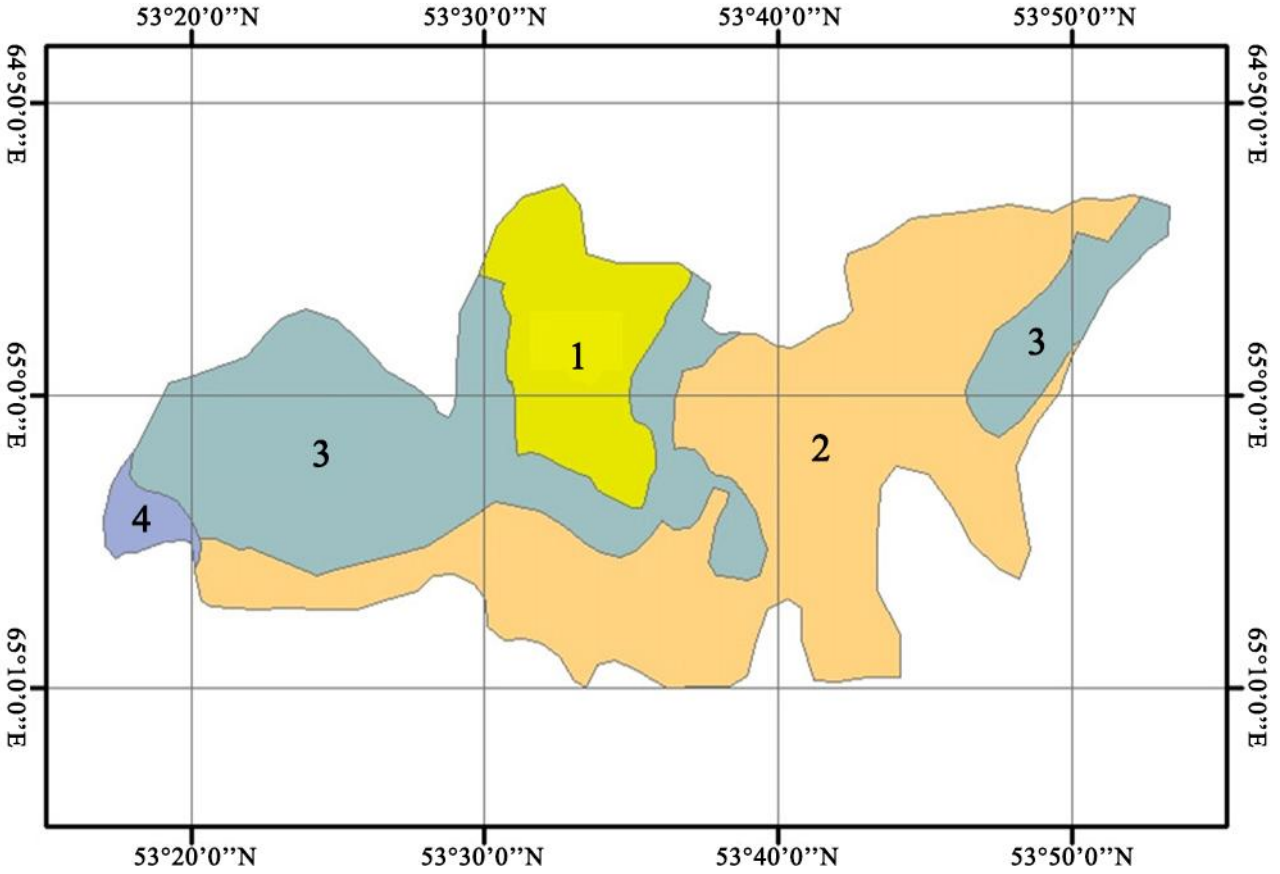


Рис. 3. Растительный покров тестового участка 1. **Fig. 3**. Vegetation cover of the test plot 1.

Плоские равнины днищ древних ложбин стока покрыты комплексами ковыльно-типчаковых, грудницево-типчаковых (*Festuca valesiaca*, *Galatella villosa*), селитрянополынно-типчаковых (*F. valesiaca*, *Artemisia nitrosa*) сообществ на солонцах и разнотравно-типчаково-красноковыльных фитоценозов на черноземах солонцеватых (рис. 3, зона 2).

По долине реки Убаган распространены ивовые заросли (*Salix pentandra*), тополевые (*Populus nigra*) рощи, фрагментарно березово-осиновые колки с ежевичным (*Rubus caesius*) и разнотравно-злаковым покровом с солодковыми, разнотравно-злаково-осоковыми лугами и травяными болотами (рис. 3, зона 3), а также кустарниковые заросли (*S. pentandra*) с галофитными ситниково-злаковыми (*Puccinellia distans*) с кермеком (*Limonium gmelinii*) лугами и болотницевыми (*Eleocharis palustris*), клубнекамышево-тростниковыми (*Bolboschoenus maritimus*, *Phragmites australis*) с разнотравьем травяными болотами (рис. 3, зона 4; рис. 4, зона 5).

Тестовые участки №2 и №3 расположены в подзоне засушливых степей. Территория тестового участка 2 представлена плоскими и слабонаклонными равнинами с разнотравно-красноковыльными (*Stipa zalesskii*, *F. valesiaca*, *Seselile debourii*, *Salvia stepposa*) сообществами на солонцеватых южных черноземах, которые частично распаханы, в комплексе с ковыльно-типчаковыми (*F. valesiaca*, *S. zalesskii*), грудницево-типчаковыми и полынно-типчаковыми сообществами на солонцах (рис. 4, зона 1).

Плоские равнины и склоны к речным долинам покрывают ковыльно-типчаковые (*Stipa capillata*, *S. zalesskii*, *F. valesiaca*), грудницево-типчаковые (*Festuca valesiaca*, *Galatella*

villosa), типчаково-селитрянополынные (*Artemisia nitrosa, F. valesiaca*) на солонцах сообщества в комплексе с типчаково-ковыльными (*F. valesiaca, S. capillata*) фитоценозами на южных солонцеватых черноземах (рис. 4, зона 2).

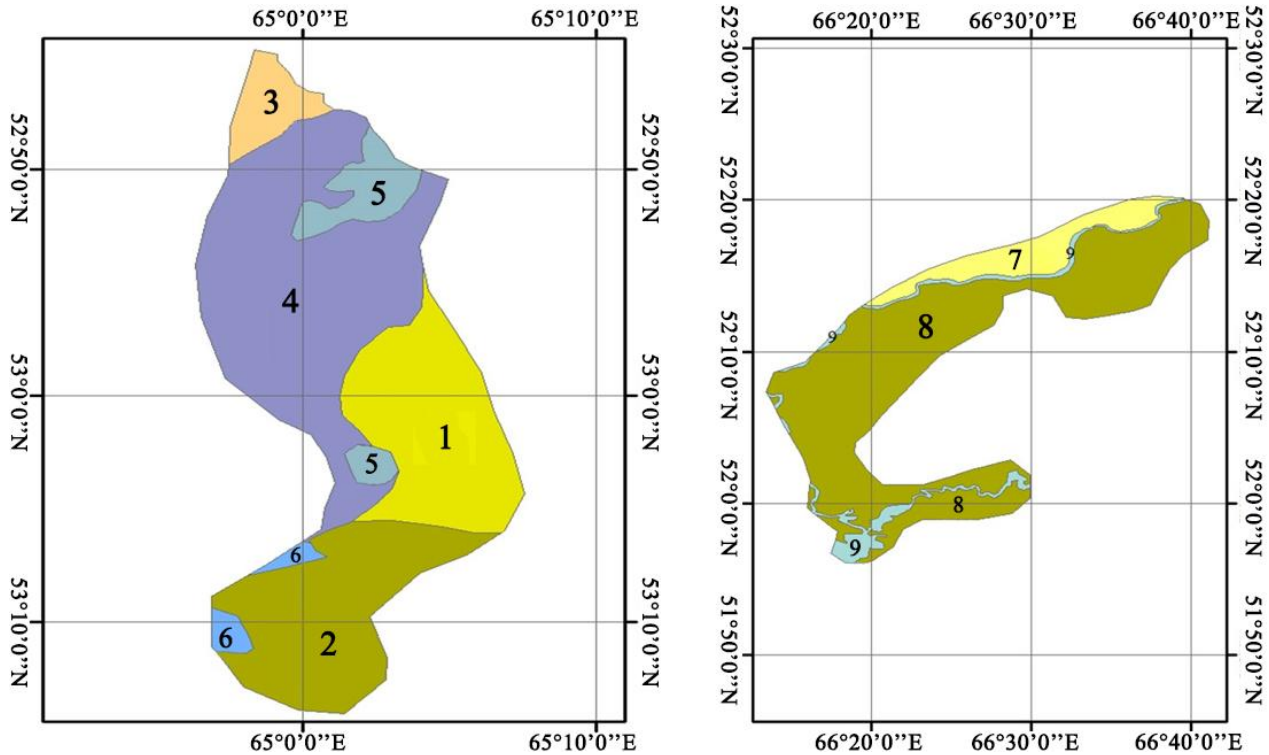


Рис. 4. Растительный покров тестовых участков 2 и 3. **Fig. 4.** Vegetation cover of test plots 2 and 3.

Слаборасчлененные склоны к речным долинам и речные террасы заняты псаммофитноразнотравно-тырсово-красноковыльными (*S. zalesskyi, S. capillata, F. valesiaca, Centaurea sibirica, S. debourii*) сообществами на легкосуглинистых и супесчаных черноземах (рис. 4, зона 3).

Долина реки Убаган представлена галофитными лугами в сочетании с группировками кустарниковых ив в обрамлении многолетнесолянковых сообществ (рис. 4, зона 4).

По приозерным солончакам преобладают солеросовые (*Salicornia herbacea*), обионовые (*Obione verrucifera*) и сарсазановые (*Halocnemum strobilaceum*) галофитные сообщества (рис. 4, зона 6).

Тестовый участок №3 расположен на плоских и полого-увалистых равнинах с разнотравно-красноковыльно-ковылковыми (*Stipa lessingiana, S. zalesskii, Salvia stepposa, Galatella divaricata*) с *Peucedanum lubimenkoanum* сообществами (рис. 4, зона 7) и разнотравно-типчаково-красноковыльно-ковылковыми (*S. lessingiana, S. zalesskii, F. valesiaca, G. divaricata*) сообществами (рис. 4, зона 8), местами распаханными, на карбонатных южных черноземах.

В долине реки Ишим преобладают тополевые (*Populus nigra*), ветловые (*Salix alba*) и осиново-березовые (*Betula pendula*) леса с кустарниками (*Lonicera tatarica*) с камышево-разнотравно-тростниковыми (*Phragmites australis, Carex caespitosa, Stachys palustris, Scutellaria galericulata, Alisma gramineum, Scirpus lacustris*) болотами, разнотравно-злаковыми и остепненными лугами (рис. 4, зона 9).

Тестовые участки №4 и №5 расположены в подзоне умеренно-сухих степей. Территория участка 4 представлена наклонными ступенчатыми расчлененными равнинами с ксерофитноразнотравно-ковылковыми (*S. lessingiana*, *Galatella tatarica*, *G. divaricata*) сообществами на темнокаштановых карбонатных, часто смытых почвах и типчаково-тырсовыми (*Stipa capillata*, *F. valesiaca*) с псаммофитными элементами на легкосуглинистых почвах в сочетании с кустарниковой растительностью по логам (рис. 5, зона 1).

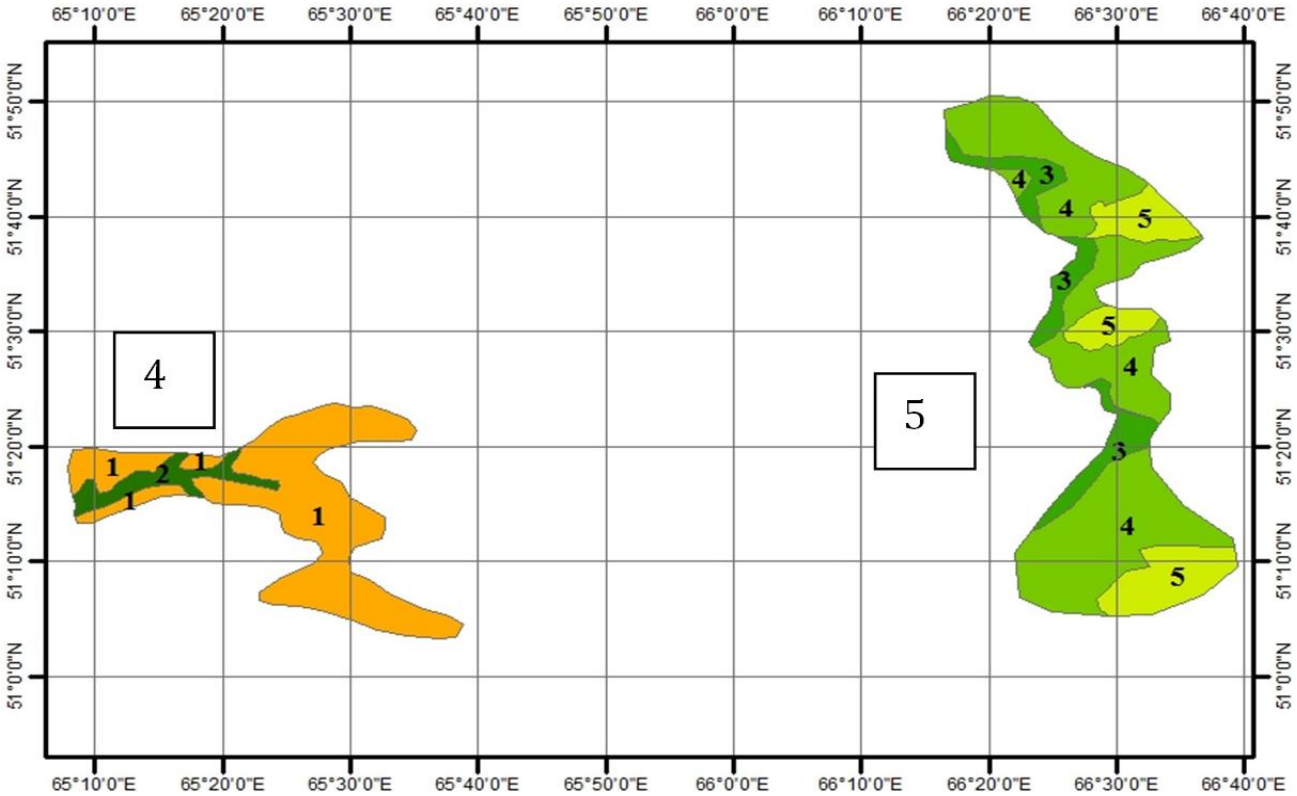


Рис. 5. Растительный покров тестовых участков 4 и 5. **Fig. 5.** Vegetation cover of test plots 4 and 5.

По склонам и долинам малых рек (рис. 5, зона 2) встречаются ромашниково-ковылковые (*S. lessingiana*, *Pyrethrum achilleifolium*), ромашниковые (*P. achilleifolium*), ломколосниковые (*Psathyrostachys juncea*) сообщества на карбонатных смытых почвах, а также ивняки (*Salix triandra*) по долинам.

Территория участка №5 представлена плоскими равнинами, холмистыми и скалистыми мелкосопочниками и долиной реки Ишим.

Долину реки Ишим (рис. 5, зона 3) покрывают кустарниковые заросли (*Lonicerata tarica*, виды рода *Rosa*), тростниковые (*Phragmites australis*), пырейные (*Elytrigia repens*) луга с фрагментами ивняков, и участками каменистых степей по крутым склонам.

Растительность плоских равнин (рис. 5, зона 4) с темнокаштановыми солонцеватыми почвами представлена грудницево-типчаковыми (*F. valesiaca*, *Galatella villosa*) и австрийскополынно-типчаковыми (*F. valesiaca*, *Artemisia austriaca*) фитоценозами в комплексе с типчаково-тырсовыми (*S. capillata*, *F. valesiaca*) сообществами на супесчаных почвах.

Холмистые и скалистые мелкосопочники (рис. 5, зона 5) покрывают петрофитноразнотравно-типчаковые, тырсово-типчаковые и кустарниково-овсецово-

типчаковые (*F. valesiaca, S. capillata, Helictotrichondes ertorum, Berteroas pathulata, Seseli ledebouri, Dianthus acicularis, Spiraea hypericifolia*) сообщества на темнокаштановых маломощных малоразвитых почвах.

Тестовый участок №6 расположен на аридно-денудационной равнине (плато) в подзоне сухих степей. На этом участке пожары отмечены в 2003, 2006 и 2010 гг. Растительный покров представлен двумя основными типами. Первый тип распространен (рис. 6, зона 1) по увалистым равнинам, местами наклонным, расчлененным, с ромашниково-типчаково-ковыльными (*S. lessingiana, S. sareptana, F. valesiaca, P. achilleifolium*) с серой полынью (*Artemisia semiarida*) сообществами на каштановых карбонатных тяжелосуглинистых почвах и ковылково-житняково-вострецовыми (*Leymus ramosus, Agropyron pectinatum, S. lessingiana*) лугами на лугово-каштановых почвах. А также их трансформированными вариантами (рис. 6, зона 1а) под воздействием выпаса и дорожной дигрессии и частично распаханными (многолетние залежи) территориями.

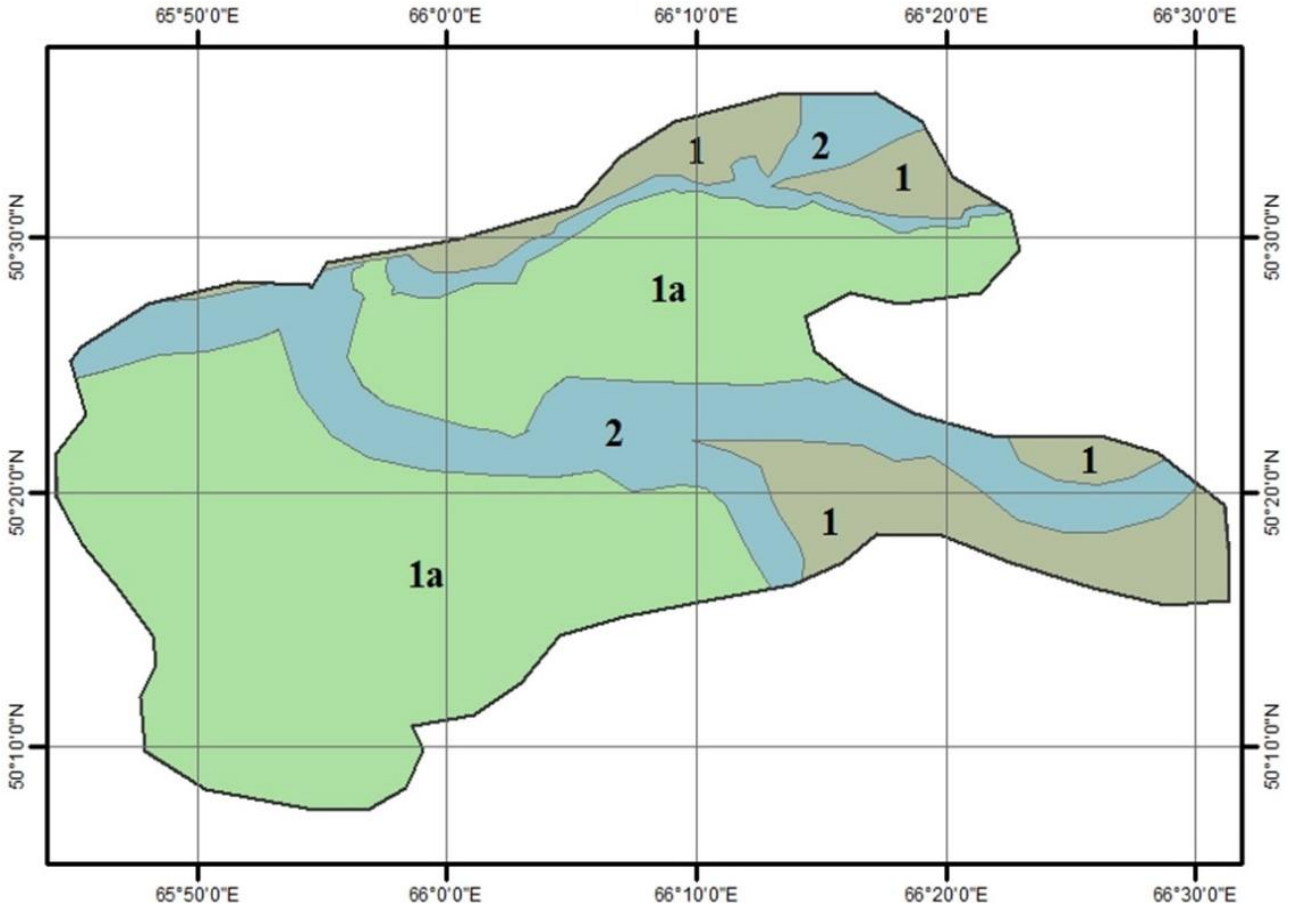


Рис. 6. Растительный покров тестового участка 6. **Fig. 6.** Vegetation cover of the test plot 6.

Второй тип сообществ (рис. 6, зона 2) распространен на склонах к речным долинам с комплексами ромашниково-ковылковых (*S. lessingiana, P. achilleifolium*), ромашниковых (P. *achilleifolium*), ломколосниковых (*Psathyrostachys juncea*), полынных (*Artemisia semiarida*) сообществ на карбонатных смытых почвах. По долинам малых рек встречается луговая растительность на луговых почвах, представленная группировками ивы (*Salix triandra*), ситниково-болотницевыми (*Eleocharis acicularis, Juncus gerardii, J. compressus*), галофитнозлаковыми (*Puccinellia tenuissima*) и солодково-пырейными (*Elytrigia repens,*

Glycyrrhiza glabra) лугами в сочетании с чиевниками (*Achnatherum splendens*).

Тестовый участок №7 расположен на равнинной территории в подзоне опустыненных степей. Растительность представлена комплексными полынно-дерновинно-злаковыми степями на светлокаштановых солонцеватых суглинистых почвах с полынными и многолетнесолянковыми сообществами на солонцах. Пожары отмечены в 2000, 2003, 2006, 2009 и 2012 гг.

Основная часть территории (рис. 7, зона 1) представляет собой возвышенную аридно-денудационную пластовую равнину (плато) с тонковато-полынно-тырсиковыми (*Stipa sareptana, Artemisia gracilescens*) сообществами на солонцеватых суглинистых почвах в комплексе с полынными (*Artemisia gracilescens, A. semiarida*) и местами с чернополынными (*Artemisia pauciflora*) сообществами на солонцах. Часть этой территории (рис. 7, зона 1а) представлена трансформированными под воздействием выпаса вариантами вышеперечисленных сообществ.

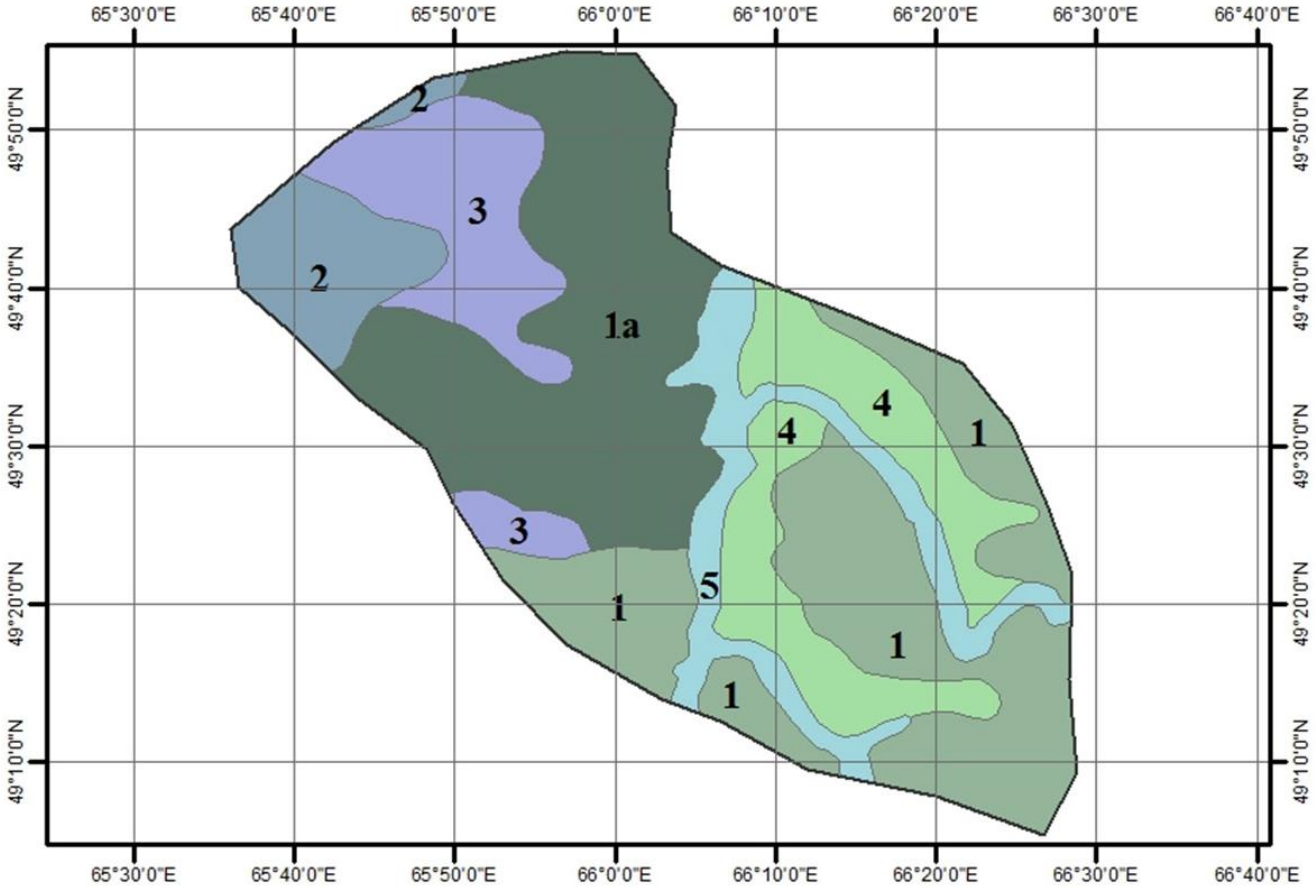


Рис. 7. Растительный покров тестового участка 7. **Fig. 7.** Vegetation cover of the test plot 7.

В северо-западной части участка (рис. 7, зона 2) основным сообществом также является тонковатополынно-тырсиковое (*S. sareptana, Artemisia gracilescens*), которое образует комплексы с полынными (*A. gracilescens*) и чернополынными (*A. pauciflora*) сообществами в сочетании с гидроморфными комплексами полынных (*A. nitrosa, A. schrenkiana*) и луговых.

В северной части участка (рис. 7, зона 3) встречаются равнины низкого уровня с чернополынными (*A. pauciflora*) сообществами на солонцах, а также типчаковые (*F. valesiaca*) и тырсиковые (*S. sareptana*) фитоценозы на солонцеватых почвах.

В южной центральной части тестового участка (рис. 7, зона 4) по расчлененным и размытым склонам плато с выходами глин встречаются группировки *Anabasis eriopoda, A. salsa, Artemisia semiarida* на остаточных солонцах.

Через центральную и южную части участка протекают реки Кара-Тургай и Сары-Тургай (рис. 7, зона 5). Склоны к долинам малых рек покрыты чернополынными (*A. pauciflora*) и ромашниковыми (*T. achilleifolium*) сообществами на солонцах, которые образуют комплексы с типчаковыми (*F. vale*siaca) фитоценозами на солонцеватых почвах и сочетаются с бескильницевыми (виды рода *Puccinellia*) лугами.

Тестовый участок №8, расположенный в зоне северных пустынь, представлен в основном экосистемами равнин. Северная, северо-западная и центральная части участка (рис. 8, зона 1), где распространены низкие засоленные равнины, покрыты комплексными биюргуновыми пустынями. Биюргуновые (*Anabasis salsa*) сообщества, растущие на солонцах, образуют комплексы с чернополынными (*A. pauciflora*) по бурым солонцеватым почвам, злаково-серополынными (*A. semiarida, S. sareptana, Poa bulbosa*) по бурым почвам и местами с кокпековыми (*Atriplex cana*) по солончаковатым солонцам сообществами.

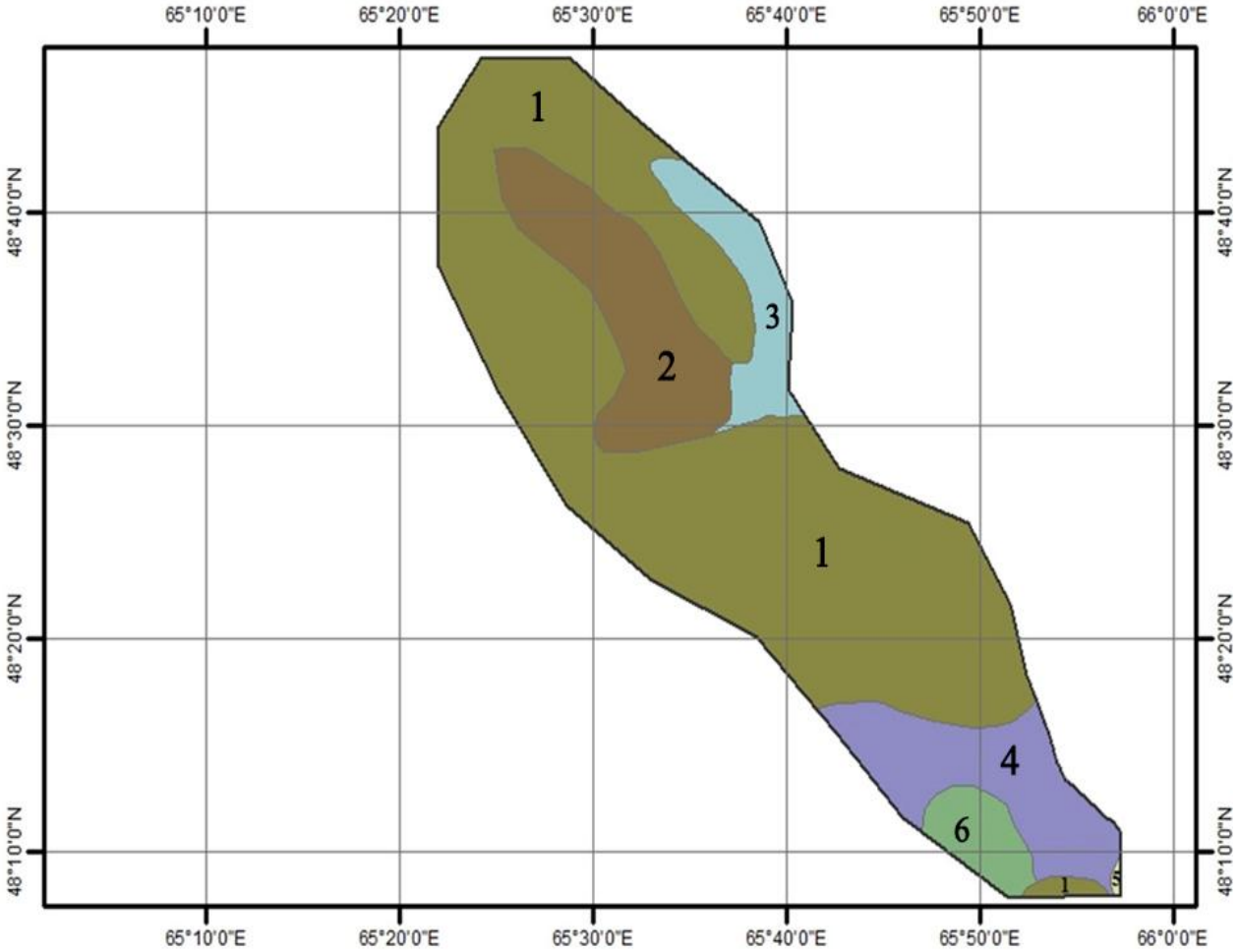


Рис. 8. Растительный покров тестового участка 8. **Fig. 8.** Vegetation cover of the test plot 8.

В центре северной части участка (рис. 8, зона 2) распространены равнины с комплексными гемипетрофитными полынными и многолетнесолянковыми пустынями. Растительный покров представлен ковыльно-серополынными (*A. semiarida, S. sareptana,*

S. kirghisorum) сообществами на бурых почвах в комплексе с ковыльно-полынно-чернобоялычевыми (*Salsola arbusculiformis, A. semiarida, S. sareptana, S. kirghisorum*) и тасбиюргуновыми (*Nanophyton erinaceum*) фитоценозами на бурых солончаковатых почвах.

В северо-восточной части участка (рис. 8, зона 3) встречаются равнины с комплексными злаково-полынными, полынными и солянковыми пустынями на суглинистых, часто солонцеватых почвах и солонцах. Растительность представлена мятликово-серополынными (*A. semiarida, P. bulbosa, S. sareptana*) сообществами на суглинистых бурых почвах, биюргуновыми (*A. salsa*) и чернополынно-биюргуновыми (*A. salsa, A. pauciflora*) сообществами на солонцах и солонцеватых почвах.

Юго-восточная и юго-западная часть участка (рис. 8, зона 4) представлена равнинами с комплексными многолетнесолянковыми пустынями. Здесь преобладают тасбиюргуново-биюргуновые (*A. salsa, N. erinaceum*) и ковыльно-полынно-чернобоялычевые (*Salsola arbusculiformis, Artemisia terrae-albae, A. schrenkiana, S. sareptana, A. richterana*) сообщества с *Ferula ferulaeoides* на солонцах и солончаковатых почвах.

В юго-восточной части (рис. 8, зона 5) встречаются комплексы ковыльно-белоземельнополынно-чернобоялычевых (*S. arbusculiformis, A. terrae-albae, S. richterana, S. kirghisorum*) с *Ferula ferulaeoides* и биюргуново-тасбиюргуновых (*N. erinaceum, A. salsa*) сообществ по солончаковатым почвам и солонцам. Юго-западная часть тестового участка (рис. 8, зона 6) представлена мелкосопочниками с петрофитными ковыльно-полынными пустынями. Растительный покров представлен ковыльно-сублессингиановополынными (*Artemisia sublessingiana, S. sareptana, S. richterana, Galitzkya spathulata, Ephedra distachya, Lagochilus pungens*) сообществами на бурых малоразвитых каменистых почвах.

Методы исследования

Одним из направлений тематической обработки спутниковой информации, разработанным в NOAA/NESDIS, является расчет различных вегетационных индексов. В процессе применения вегетационных индексов для различных объектов на территории Казахстана было доказано, что они могут быть использованы для мониторинга состояния растительного покрова, обнаружения засухи и оценки ее воздействия на продуктивность пастбищ и посевов (Gitelson, 1995; Kogan et al., 2003; Закарин и др., 1999). В научно-исследовательской работе (Отчет о НИР …, 2013), определен комплекс спутниковых вегетационных индексов, которые могут служить индикаторами при распознавании засушливых погодных условий для полуаридной территории Казахстана (табл. 1).

В Отчете о НИР (2013) показано, что значения индексов вегетации и характеристики их сезонной/многолетней динамик позволяют не только определить вариации спектральных характеристик и, соответственно, изменения в состоянии естественной растительности исследуемых участков; но и выявить нюансы отклика естественной растительности на различные погодные условия.

В этой связи для анализа пространственно-временных изменений в состоянии растительного покрова использовались временные ряды индексов вегетации за май-сентябрь 2000-2013 гг., рассчитанные по данным первого (0.58-0.68 мкм) и второго (0.725-1.10 мкм) каналов радиометра AVHRR/NOAA.

Для определения представительности выделенных тестовых участков рассчитаны коэффициенты корреляции между значениями вегетационных индексов в границах тестовых участков из различных ботанико-географических подзон, ограниченных трансектой, и в ботанико-географических подзонах на территории Республики, показавших высокую степень тесноты связи (от 0.94 до 0.99).

Таблица 1. Формулы и функциональность вегетационных индексов.
Table 1. Formulas and functionality of the vegetation indices.

Идентифи-катор индекса	Наименование	Формула	Назначение
NDVI	Нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (Rouse et al., 1973)	NDVI= $\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Оценка сезонной динамики состояния растительного покрова
NDVI	Композитное значение NDVI за определенный временной интервал	NDVIj= $\max^{10}_{i=1}$•(NDVIj•i), где j – номер декады в сезоне	Уменьшение влияния облачности
VCI	Индекс условий вегетации (Kogan, 1990)	VCIj= $\frac{NDVIj - NDVIj\min}{NDVIj\max - NDVIj\min}$ •100%	Оценка воздействия погодных условий на растительность
IVI	Интегральный вегетационный индекс (Spivak et al., 2008)	IVIt= $\sum_{j=n1}^{n2} NDVIj$, где t – номер сезона, j – номер декады, n1, n2 – начальная и конечная декада сезона вегетации	Характеризует количество зеленой биомассы в каждом пикселе, вычисляется суммированием значений NDVI за вегетационный сезон
IVCI	Интегральный индекс условий вегетации (Spivak et al., 2008)	IVCIt= $\frac{IVI_t - IVI_{min}}{IVI_{max} - IVIj_{min}} \cdot 100\%$, где t – номер сезона	Определение межгодовых вариаций воздействия погодных условий на состояние растительности

Результаты и обсуждение

1) Анализ изменения дистанционно определяемых параметров естественной растительности тестовых участков. Анализ распределения NDVI в течение вегетационного сезона обеспечивает дополнительную информацию при оценке состояния растительности. Так, рассчитанные значения NDVI за 13-летний период и их сезонная динамика (первая декада февраля – третья декада ноября) для каждого тестового участка,

отражают состояние растительного покрова и характеризуются такими параметрами, как даты начала и конца вегетационного сезона; продолжительность периода роста и развития растений; дата наступления пика вегетации и величина $NDVI_{max}$ (рис. 9А).

Многолетние сезонные распределения индекса NDVI иллюстрируют индивидуальность каждого вегетационного сезона. NDVI-кривые для трех лет, различающихся по погодным условиям, представлены на рисунке 9Б (2002 год был одним из наиболее влажных для данной территории в рассматриваемом периоде, 2008 – умеренным, 2010 – наиболее засушливым).

Согласно распределению индекса NDVI для выделенных тестовых участков, расположенных в разных подзонах степной зоны Казахстана, значения $NDVI_{max}$ на пике вегетации для сезонов 2000-2013 гг. уменьшаются по мере продвижения с севера на юг (рис. 10). Кроме того, отмечается тренд более раннего наступления пика вегетации и уменьшение значений NDVI за период наблюдений, что свидетельствует о более засушливых условиях последних вегетационных сезонов. Наиболее значимо эти процессы проявляются в умеренно-засушливой и засушливой подзонах.

2) Анализ состояния естественной растительности в агроклиматических зонах, расположенных в пределах трансекты. Для разных агроклиматических зон построены графики динамики значений интегрального вегетационного индекса IVI (рис. 11).

Анализ динамики значений IVI показывает, что многолетние распределения интегральных индексов, характеризующих накопленную за сезон биомассу, для различных зон изменяются синфазно. При этом значения IVI уменьшаются в южных зональных поясах. Кроме того, наблюдается явно выраженный тренд уменьшения значений IVI в связи с засушливыми погодными условиями последних лет.

Относительное отклонение IVI от среднего многолетнего значения может служить характеристикой чувствительности растительного покрова к погодным изменениям. Рассчитаны тренды изменений отклонений IVI от среднего многолетнего значения для каждого выбранного участка (рис. 12). Здесь же указаны уравнения линейных трендов и коэффициенты корреляции.

Первая половина анализируемого периода 2000-2013 гг. характерна положительными отклонениями от среднего многолетнего значения, что свидетельствует о благоприятных погодных условиях для развития растительного покрова. Центр тяжести усиления засушливости приходится на вторую часть исследуемого периода. Наибольшим изменениям подвержен растительный покров южных подзональных полос.

Многолетние распределения индекса IVCI также позволяют оценить тренды изменения воздействия погодных условий на состояние растительного покрова в вегетационном сезоне в целом и ранжировать годы по благоприятности погодных условий (рис. 13).

По значениям IVCI<0.3 (признак засухи, принятый в практике дистанционного зондирования; Kogan, 1990; Seiler et al., 2000; Spivak et al., 2009) определены засушливые вегетационные сезоны для разных агроклиматических зон: 2004, 2006, 2008, 2010, 2012 гг.

Еще одним важным фактором в исследовании межсезонных закономерностей изменения состояния растительного покрова в различных агроклиматических зонах при засушливых условиях являются значения площадей участков с IVCI<0.3. Такая информация позволяет оценить наиболее засушливые сезоны, их особенности и степень подверженности засухе той или иной территории. Рассчитана динамика изменения площадей участков с IVCI<0.3 в границах трансекты в засушливые годы (рис. 14).

Для зон степного региона, выделенных в пределах трансекты, в периоде 2000-2012 гг. наиболее засушливыми являются 2006, 2010 и 2012 годы. Но если в последние два года засухе была подвержена растительность всех степных зон, то в 2006 году в большей степени пострадал растительный покров южных зон.

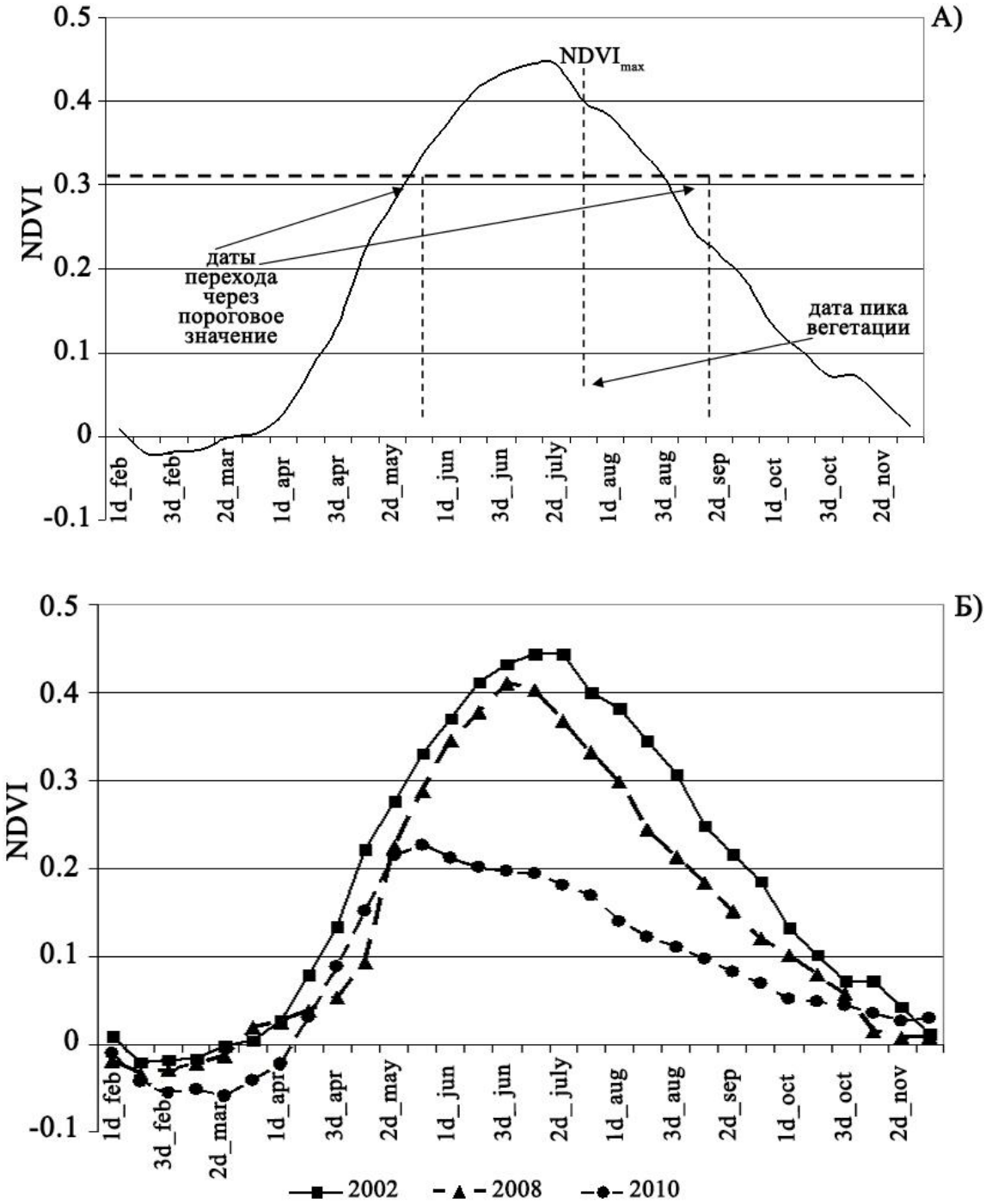


Рис. 9. Распределения значений NDVI. Условные обозначения: А – характеристики NDVI-кривой, Б – динамика NDVI для тестового участка в подзоне умеренно-засушливой степи, в разные годы. **Fig. 9**. Distributions of NDVI values. Notes: A – NDVI curve characteristics, Б – NDVI dynamics for the test site in the subzone of the moderately arid steppe in different years.

При этом в засушливые годы отмечаются низкие значения максимума вегетационного пика $NDVI_{max}$ и его раннее наступление.

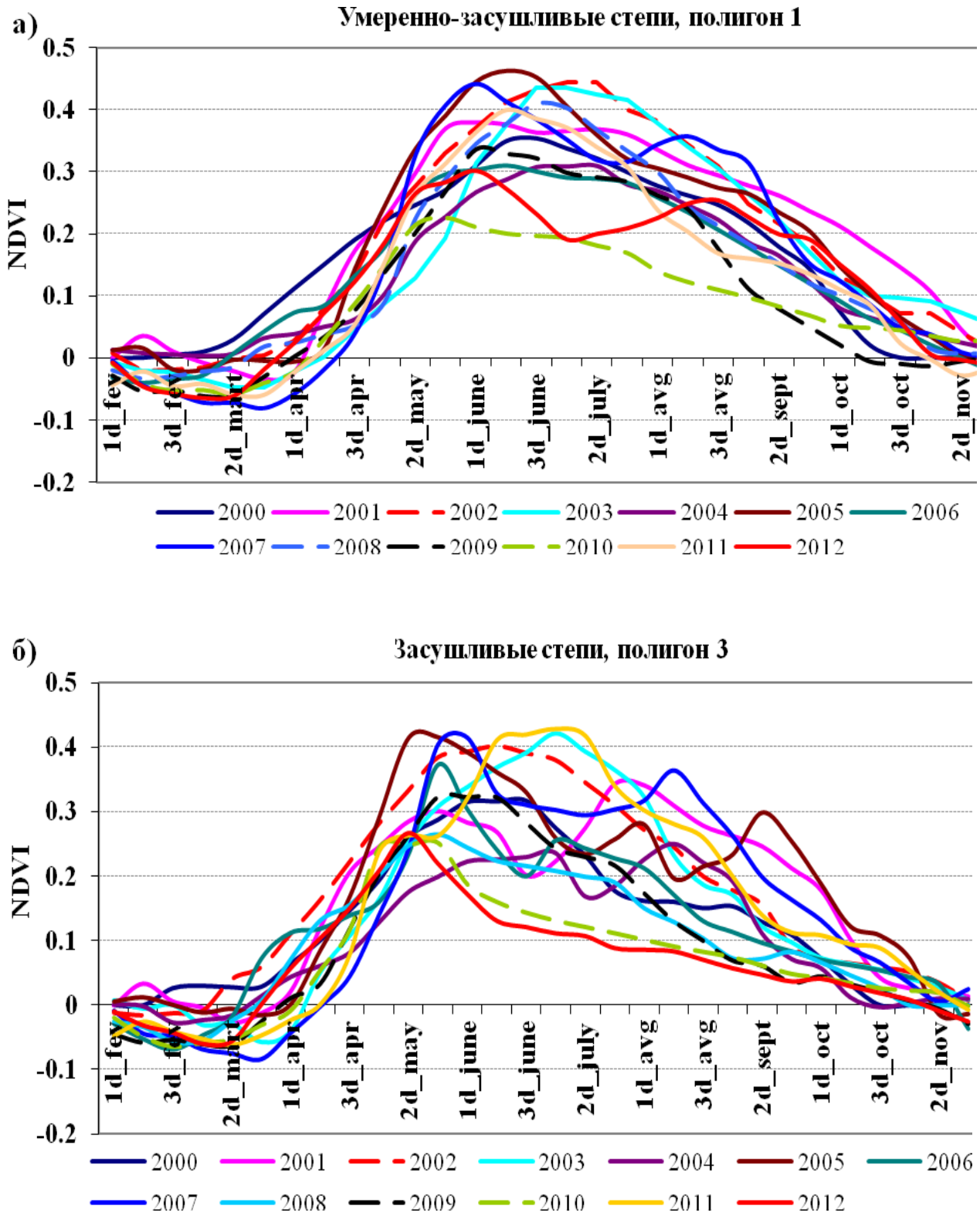


Рис. 10 а, б. Распределения индекса NDVI для выделенных тестовых участков, расположенных в разных подзонах степной зоны Казахстана, для вегетационных сезонов 2000-2013 гг. **Fig. 10 а, б.** Distributions of the NDVI index for selected test sites, located in different subzones of Kazakhstan steppe zone, for vegetation seasons of 2000-2013.

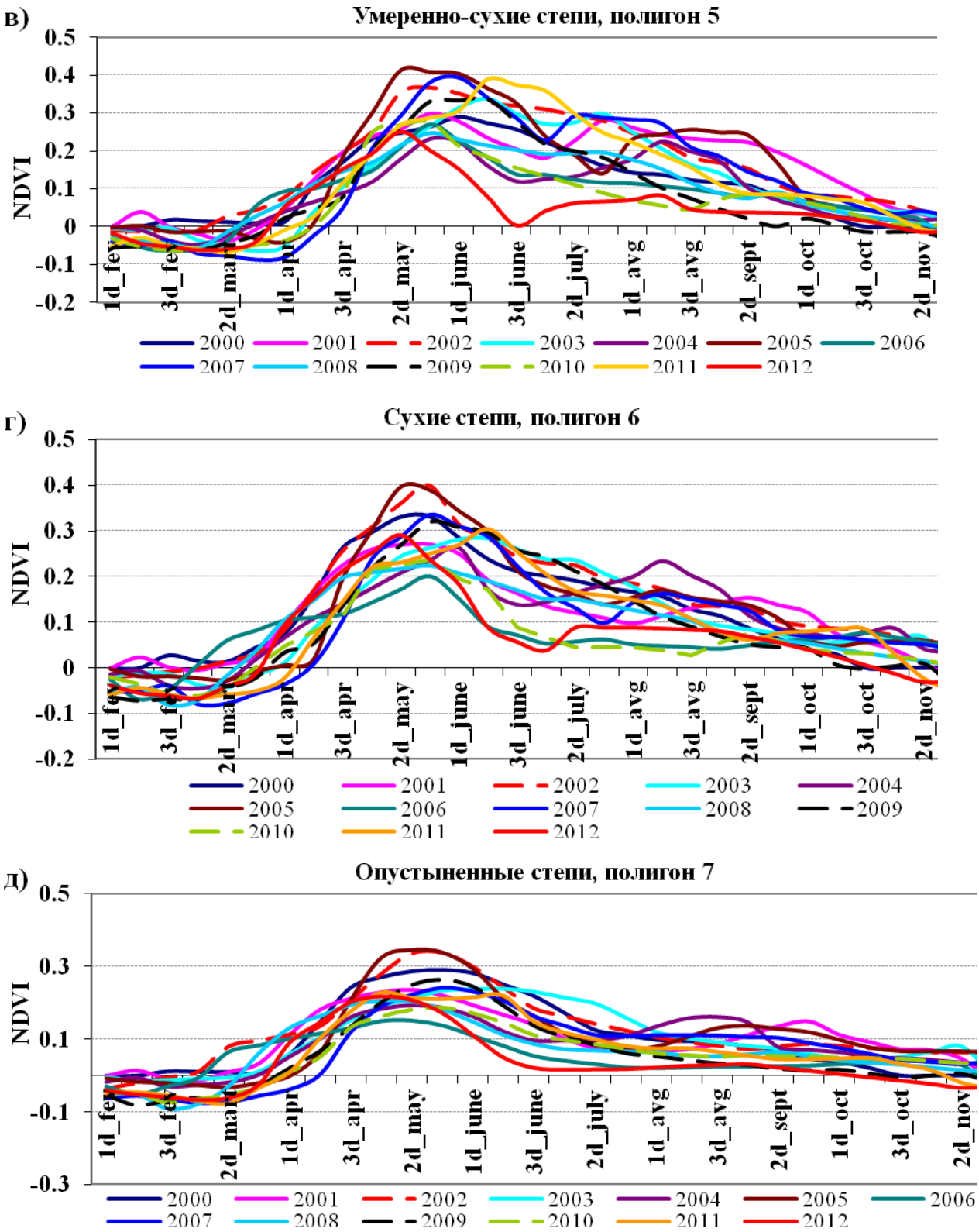


Рис. 10 в, г, д. Распределения индекса NDVI для выделенных тестовых участков, расположенных в разных подзонах степной зоны Казахстана, для вегетационных сезонов 2000-2013 гг. **Fig. 10 в, г, д.** Distributions of the NDVI index for selected test sites, located in different subzones of Kazakhstan steppe zone, for vegetation seasons of 2000-2013.

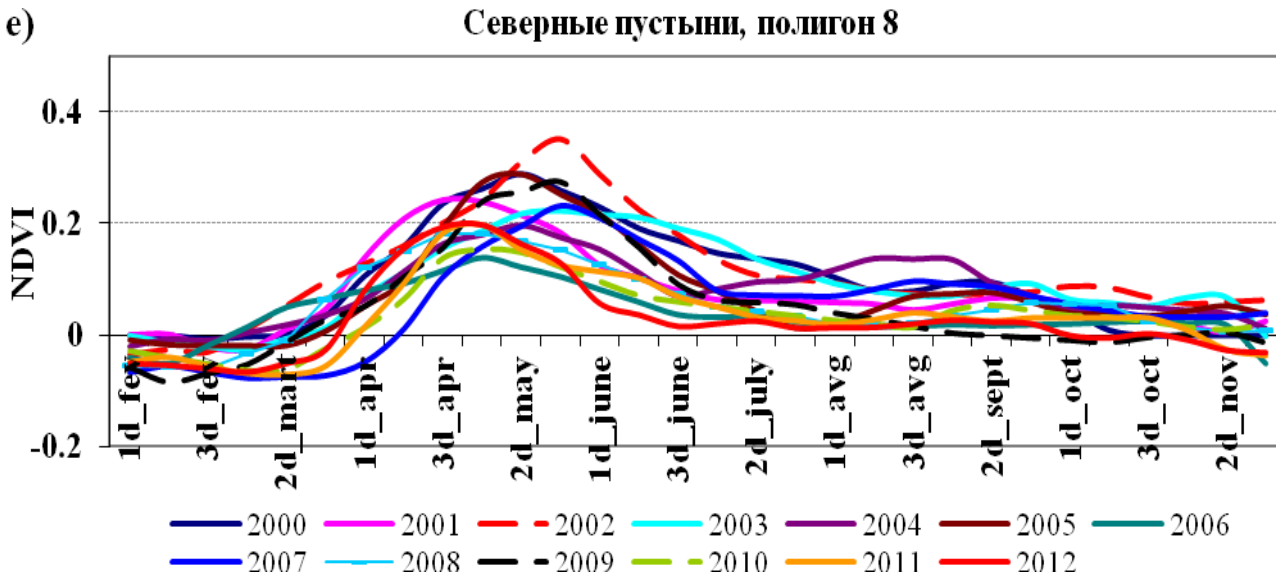


Рис. 10 е. Распределения индекса NDVI для выделенных тестовых участков, расположенных в разных подзонах степной зоны Казахстана, для вегетационных сезонов 2000-2013 гг.
Fig. 10 e. Distributions of the NDVI index for selected test sites, located in different subzones of Kazakhstan steppe zone, for vegetation seasons of 2000-2013.

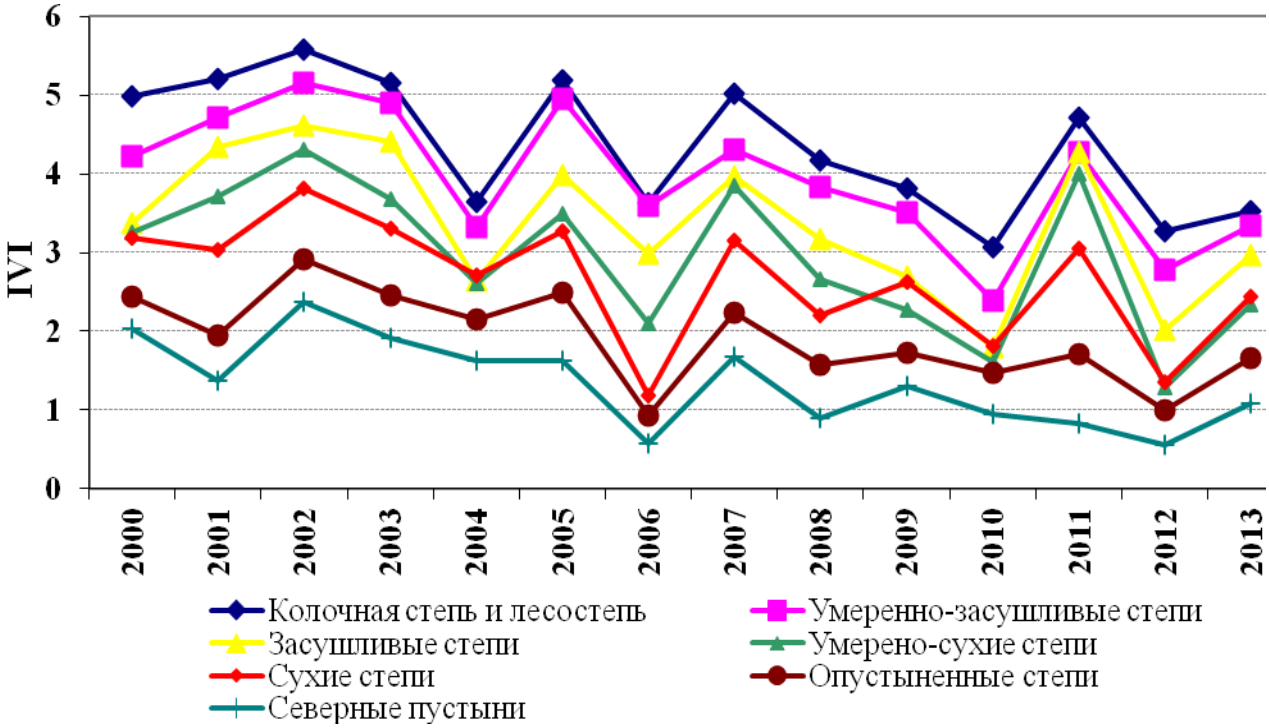


Рис. 11. Динамика значений IVI для разных агроклиматических зон в 2000-2013 гг.
Fig. 11. Dynamics of IVI values for different agro-climatic zones during 2000-2013.

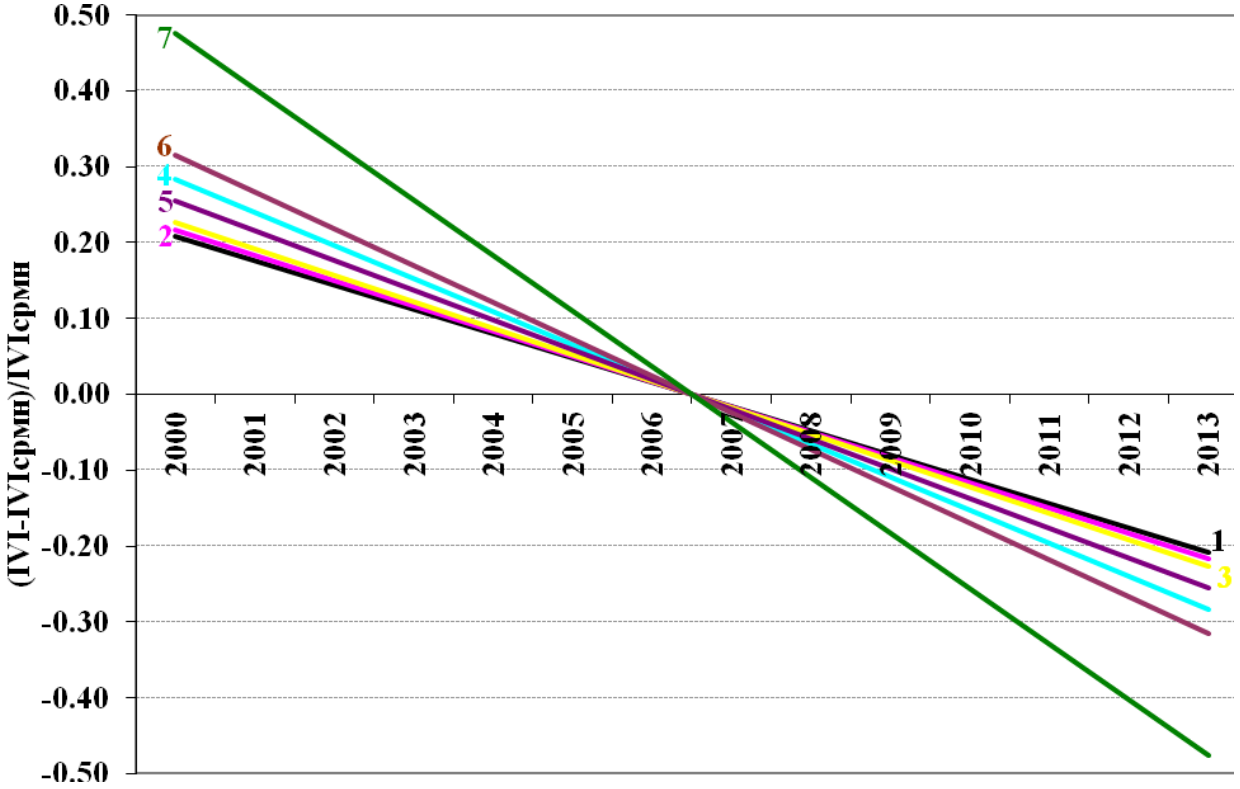


Рис. 12. Многолетний тренд изменения относительного отклонения IVI от среднего многолетнего значения. *Условные обозначения* для линий трендов с их формулами и коэффициентами корреляций: 1 – колочная степь и лесостепь, y=-0.03x+0.241, R2=0.47; 2 – кмеренно-засушливые степи, y=-0.03x+0.251, R2=0.43; 3 – засушливые степи, y=-0.04x+0.262, R2=0.29; 4 – умерено-сухие степи, y=-0.04x+0.327, R2=0.32; 5 – сухие степи, y=-0.04x+0.294, R2=0.31; 6 – опустыненные степи, y=-0.05x+0.364, R2=0.45; 7 – северные пустыни, y=-0.07x+0.548, R2=0.55. **Fig. 12.** The long-term trend of changes of IVI index relative deviation from the average multiyear value. *Notes* for the trend lines with their formulas and correlation coefficient: 1 – steppe with forest outliner and forest-steppe, y=-0.03x+0.241, R2=0.47; 2 – moderately-arid steppes, y=-0.03x+0.251, R2=0.43; 3 – arid steppes, y=-0.04x+0.262, R2=0.29; 4 – moderately-dry steppes, y=-0.04x+0.327, R2=0.32; 5 – dry steppes, y=-0.04x+0.294, R2=0.31; 6 – desertified steppes, y=-0.05x+0.364, R2=0.45; 7 – northern deserts, y=-0.07x+0.548, R2=0.55.

3) Оценка изменений в состоянии естественной растительности в подзонах степной зоны Казахстана по значениям индексов вегетации. Важным показателем состояния растительности можно считать продолжительность периода при переходе через такие значения NDVI, как 0.2, 0.3 и 0.4, поскольку для степной зоны, расположенной на большей части территории Казахстана, в умеренные по погодным условиям годы характерным значением NDVI является 0.4 (Закарин, 1999), которое уменьшается при переходе к опустыненным степям и северным пустыням. Эти пороговые значения условно приняты нами за оценку состояния растительного покрова (табл. 2).

Переход значения NDVI через 0.3 для степной зоны и 0.2 для зон опустыненных степей и северных пустынь характеризуется нами, как хорошее состояние растительности. Продолжительность периода для каждой полосы различна и также может являться показателем неблагоприятного или засушливого года (табл. 3).

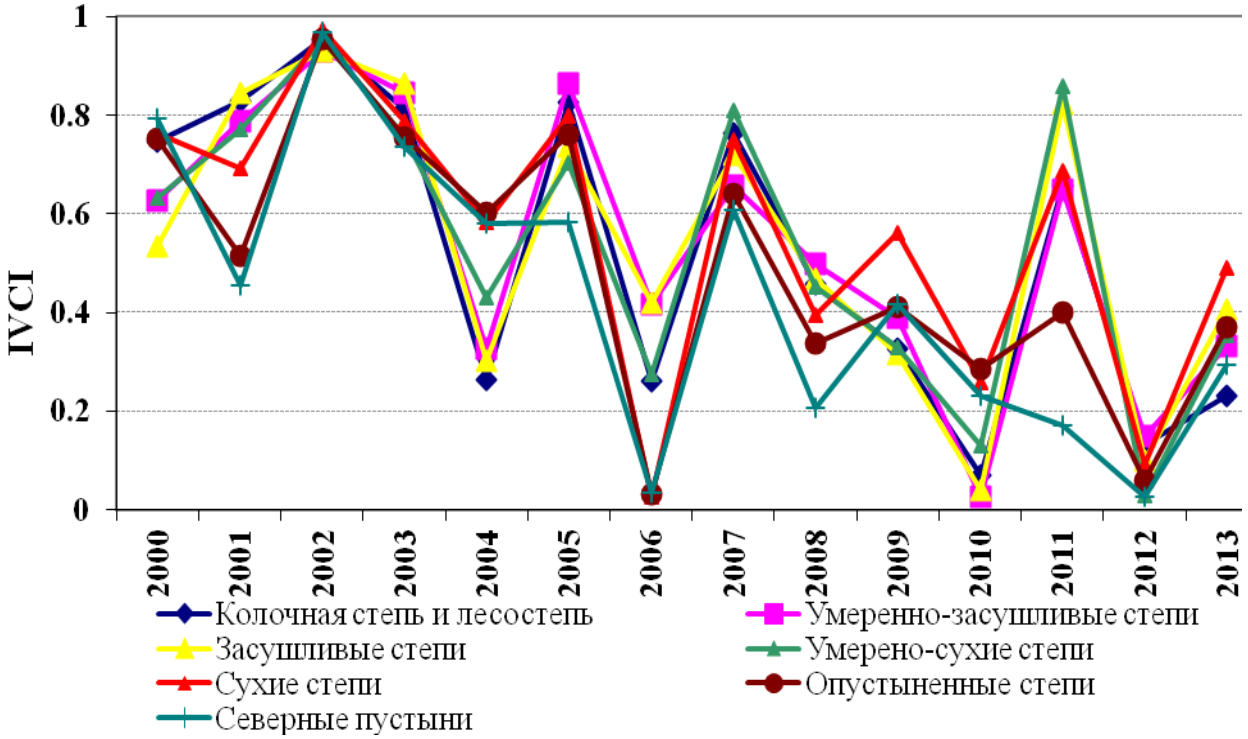


Рис. 13. Динамика значений IVCI для разных агроклиматических зон в 2000-2013 гг.
Fig. 13. Dynamics of IVCI index values for different agro-climatic zones during 2000-2013.

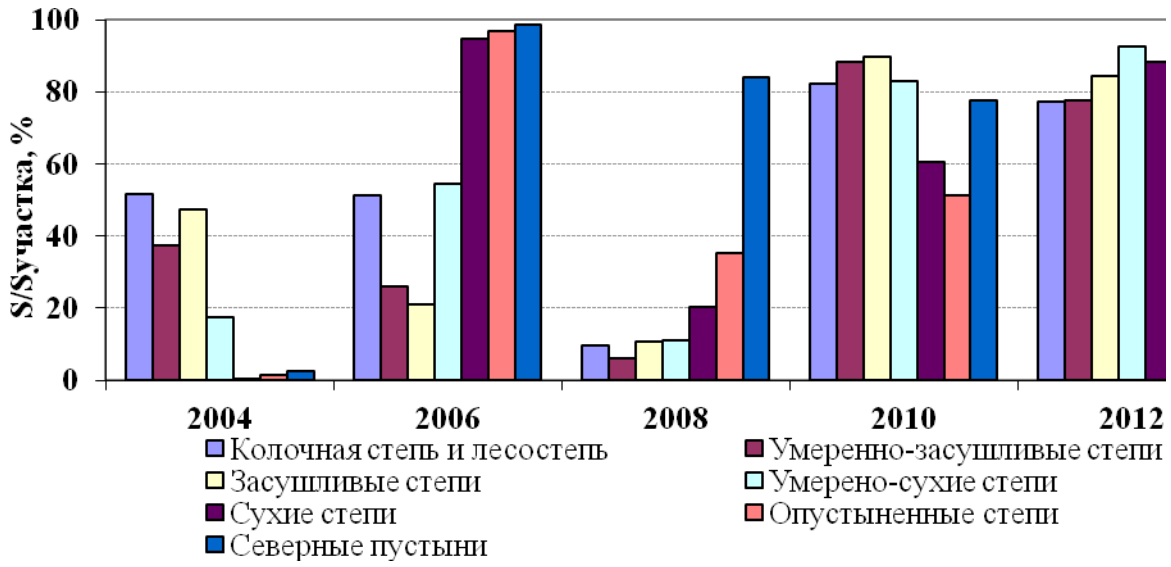


Рис. 14. Изменения площадей участков с IVCI<0.3 в границах трансекты в засушливые годы.
Fig. 14. Changes of the sites areas with IVCI<0.3 within the boundaries of transect for dry years.

Отклонения интегрального индекса вегетации IVI от среднего многолетнего значения позволяют также ранжировать каждый вегетационный сезон в ряду наблюдений по степени благоприятности погодных условий (рис. 15).

Таблица 2. Шкала оценки состояния растительности по значениям индекса NDVI.
Table 2. Scale of vegetation status assessment based on the NDVI index.

Ботанико-географические зоны	**Значения NDVI**		
	удовлетворительное	хорошее	отличное
Степная зона	0.2	0.3	0.4
Зона опустыненных степей	0.15	0.2	0.3
Зона северных пустынь	0.1	0.2	0.25

Таблица 3. Шкала оценки засушливого года. **Table 3.** Assessment scale of the dry year.

Ботанико-географические подзоны	**Продолжительность**
Колочная степь и лесостепь	NDVI=0.3 – менее 6 декад
Умеренно-засушливые степи	
Засушливые степи	NDVI=0.3 – менее 3 декад
Умеренно-сухие степи	
Сухие степи	NDVI≤0.3 – менее 1 декады
Опустыненные степи	NDVI≤0.2 – менее 1 декады
Северные пустыни	

Из данных ДЗЗ получена информация о засушливых годах для различных подзон степной зоны Казахстана (табл. 4).

Линейные тренды изменений значений IVCI для участков с естественной растительностью, расположенных в различных подзонах степной зоны Казахстана, за период 2002-2012 гг. показывают тенденцию к уменьшению данного показателя (рис. 16), что свидетельствует об усилении процессов аридизации на исследуемой территории. Это подтверждается и анализом таких метеорологических данных, как температура воздуха и осадки (III-VI Национальное Сообщение …, 2013) по Северному и Центральному Казахстану, которые показывают потепление климата в данном регионе за период (от 60 до 100 лет) в пределах от 1.7°С до 2°С и выше. Данные по атмосферным осадкам показывают общую тенденцию снижения, лишь в некоторых случаях отмечается их незначительное повышение.

Для общей оценки вегетационных сезонов проведен расчет площадей участков с низкими значениями индекса условий вегетации (рис. 17). Отмечается положительный тренд увеличения площадей с низкими значениями IVCI, сопровождаемый погодными вариациями. При этом наблюдается увеличение амплитуд отклонения от линии тренда.

4) Районирование степной зоны Казахстана по значениям индекса вегетации. Вышеописанное исследование позволило провести районирование степной зоны Казахстана по состоянию растительности на основе спутниковой информации в период 2000-2013 гг. (рис. 18). Состояние растительности определялось по значениям интегрального индекса вегетации IVInorm, нормированного на многолетний максимум и характеризующего накопленную за вегетационный сезон биомассу. Районирование проводилось по 5-балльной шкале, предложенной в работе Л. Спивак с соавторами (Spivak et al., 2012).

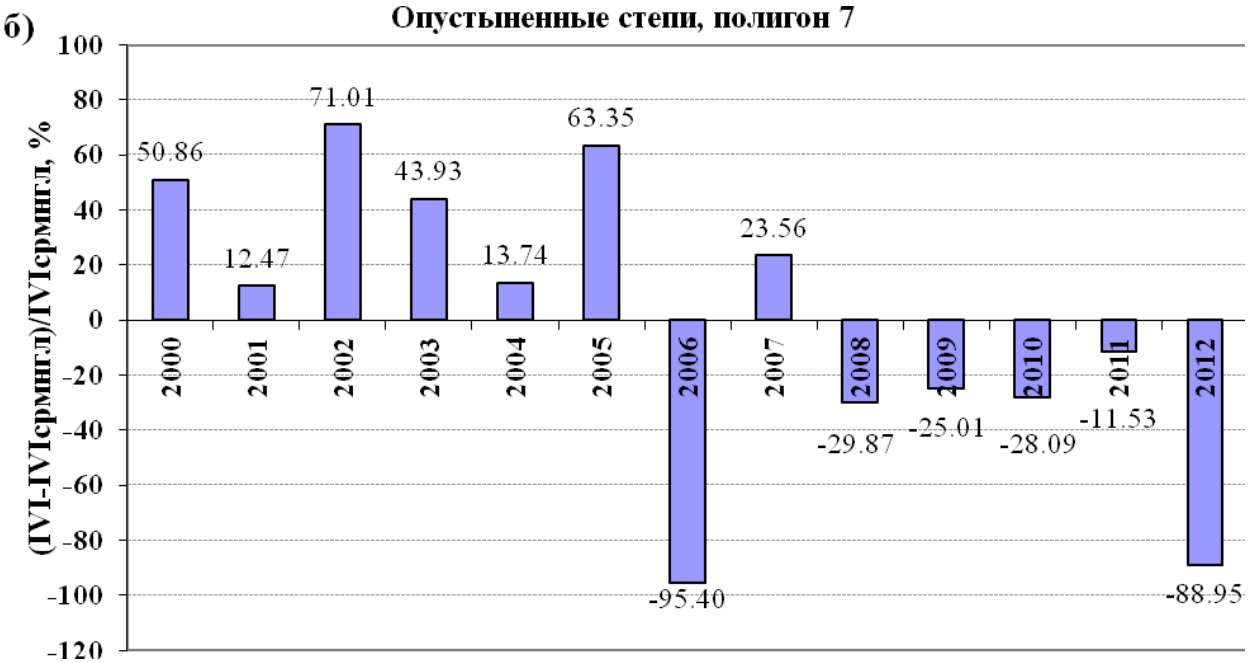


Рис. 15 а, б. Отклонение индекса IVI от среднего многолетнего значения для выделенных тестовых участков, расположенных в разных подзонах степной зоны Казахстана, для вегетационных сезонов 2000-2013 гг. **Fig. 15 а, б.** IVI index deviation from the average multi-year value for the selected test sites, located in different sub-zones of Kazakhstan steppe zone, for the growing seasons of 2000-2013.

Рис. 15 в, г. Отклонение индекса IVI от среднего многолетнего значения для выделенных тестовых участков, расположенных в разных подзонах степной зоны Казахстана, для вегетационных сезонов 2000-2013 гг. **Fig. 15 в, г.** IVI index deviation from the average multi-year value for the selected test sites, located in different sub-zones of Kazakhstan steppe zone, for the growing seasons of 2000-2013.

Для выделения зон различной продуктивности растительности использовались пороговые критерии, рассчитанные по величине значений IVInorm:

1 (очень низкая продуктивность, пустыня) – IVI/(IVImax)med≤0.1;

2 (низкая продуктивность) – 0.1≤IVI/(IVImax)med≤0.2;

3 (средняя продуктивность) – 0.2≤IVI/(IVImax)med≤0.3;
4 (умеренная продуктивность) – 0.3≤IVI/(IVImax)med≤0.4;
5 (высокая продуктивность) –IVI/(IVImax)med≥0.4.

Таблица 4. Информация о засушливых годах для различных подзон степной зоны Казахстана, полученная по данным ДЗЗ. **Table 4**. Information about dry years for various subzones of the steppe zone of Kazakhstan by remote sensing data.

Подзона	Засушливые годы
Умеренно-засушливые степи, полигон 1	2004, 2006, 2009, 2010, 2012
Засушливые степи, полигон 2	2004, 2006, 2009, 2010,2012
Засушливые степи, полигон 3	2004, 2006, 2008, 2009, 2010,2012
Умеренно-сухие степи, полигон 4	2006, 2008, 2009, 2010,2012
Умеренно-сухие степи, полигон 5	2004, 2006, 2008, 2009, 2010,2012
Сухие степи, полигон 6	2006, 2008, 2010,2012
Опустыненные степи, полигон 7	2006, 2007, 2008, 2009, 2010,2011, 2012
Северные пустыни, полигон 8	2006, 2008, 2009, 2010,2011, 2012

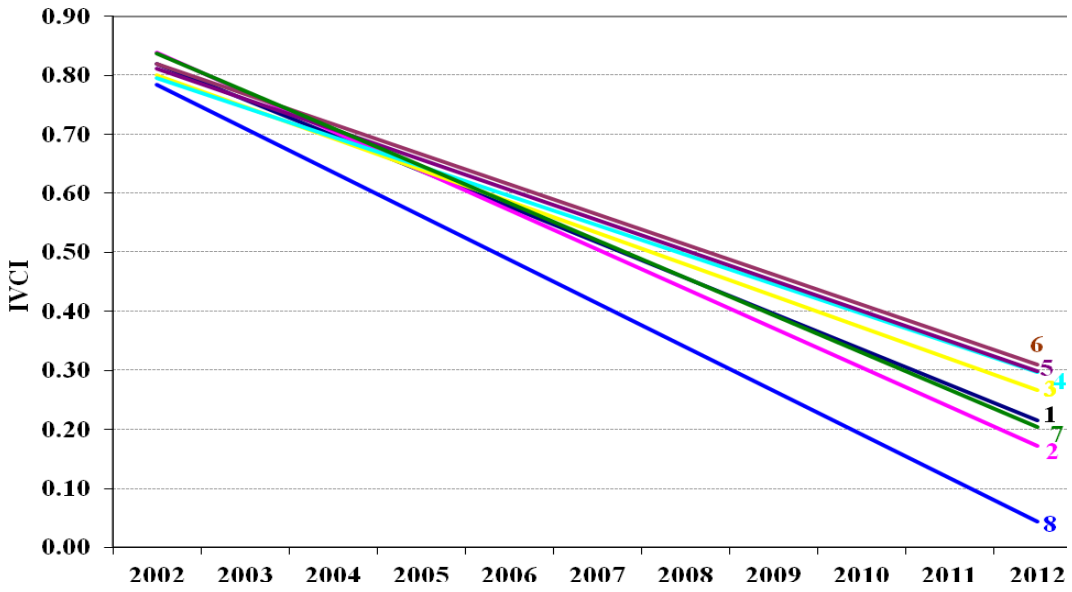


Рис. 16. Линейные тренды изменений значений IVCI для участков с естественной растительностью. *Условные обозначения* для линий трендов с их формулами и коэффициентами корреляций: 1 – умеренно-засушливые степи, y=-0.06x+0.879, R2=0.39; 2 – засушливые степи, y=-0.07x+0.905, R2=0.43; 3 – засушливые степи, y=-0.05x+0.854, R2=0.26; 4 – умеренно-сухие степи, y=-0.05x+0.846, R2=0.29; 5 – умеренно-сухие степи, y=-0.05x+0.863, R2=0.28; 6 – сухие степи, y=-0.05x+0.87, R2=0.31; 7 – опустыненные степи, y=-0.06x+0.90, R2=0.47; 8 – северные пустыни, y=-0.07x+0.858, R2=0.65. **Fig. 16.** Linear trends of changes of IVCI values for the sites with natural vegetation. *Notes* for the trend lines with their formulas and correlation coefficient: 1 – moderately-arid steppes,, y=-0.06x+0.879, R2=0.39; 2 – arid steppes, y=-0.07x+0.905, R2=0.43; 3 – arid steppes, y=-0.05x+0.854, R2=0.26; 4 – moderately-dry steppes, y=-0.05x+0.846, R2=0.29; 5 – moderately-dry steppes, y=-0.05x+0.863, R2=0.28; 6 – dry steppes, y=-0.05x+0.87, R2=0.31; 7 – desertified steppes, y=-0.06x+0.90, R2=0.47; 8 – northern deserts, y=-0.07x+0.858, R2=0.65.

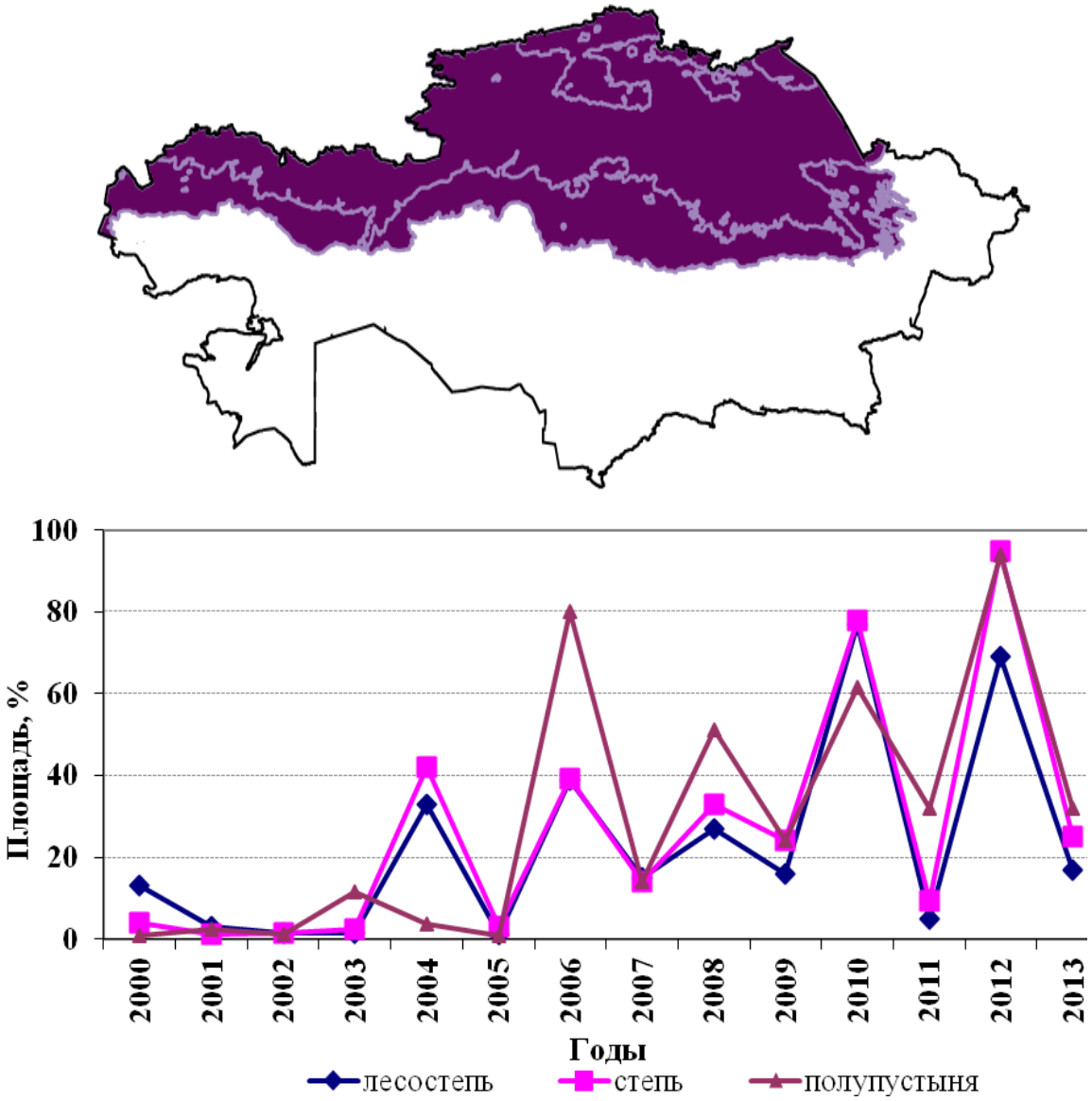


Рис. 17. Площади участков с низкими значениями IVCI (<0.3) в пределах различных подзон степной зоны, расположенных на территории северных областей РК. **Fig. 17.** Areas of sites with low IVCI values (<0.3) within different subzones of the steppe zone of the Republic of Kazakhstan northern regions.

До 2004 года в выделенной степной зоне на территории Республики практически не отмечено участков с низкими значениями IVInorm (0-0.2). С 2004 года фиксируется рост площадей с низкопродуктивной растительностью на участках, расположенных между 48.0 и 53.0 с.ш. параллелями. При этом в годы засух территория опустыненной степи практически полностью характеризуется значениями IVInorm<0.2. А для участка «степь» при низких значениях индекса IVCI находятся территории на юге Костанайской области и в районе Семипалатинского испытательного полигона, расположенного на территории Казахского мелкосопочника и являющегося участком со стабильно разреженным растительным покровом (рис. 18). Подобная информация является важной при исследовании процессов аридизации и опустынивания и оценки смещения зон низкой продуктивности растительности в северном направлении.

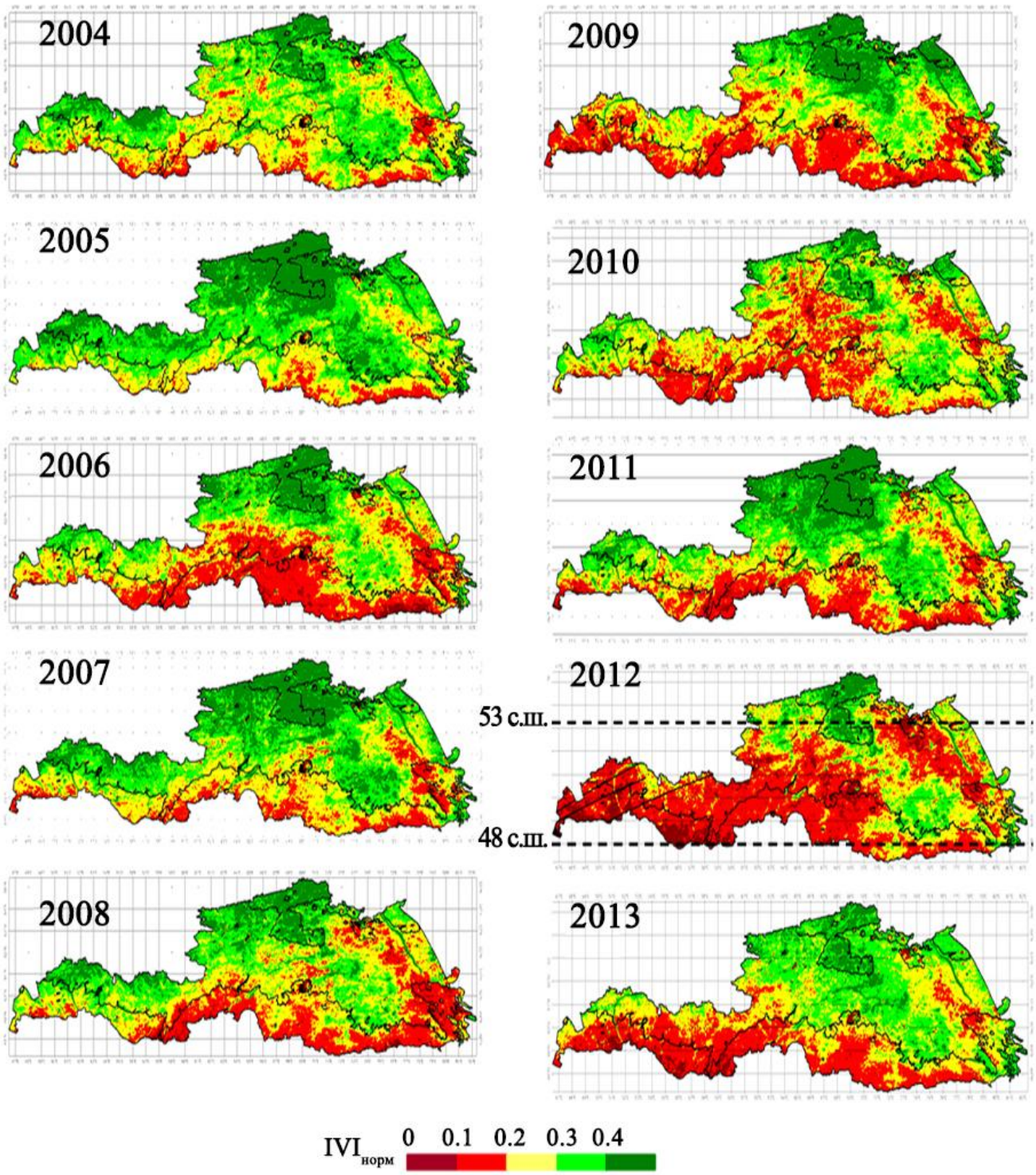


Рис. 18. Районирование степной зоны Казахстана по продуктивности растительности.
Fig. 18. Zoning of the steppe zone of Kazakhstan in terms of vegetation productivity.

Анализ индексов показал усиление стрессового воздействия засушливости на растительный покров степной зоны Казахстана. В частности, оценены потенциальные изменения в растительном покрове различных подзон степной зоны в связи с ростом частоты засух и усиления пастбищной нагрузки (табл. 5).

Таблица 5. Потенциальные изменения в растительном покрове различных подзон степной зоны Казахстана с ростом частоты засух и усиления пастбищной нагрузки. **Table 5.** Potential changes in the vegetation cover of various subzones of the Kazakhstan steppe zone with increasing of droughts frequency and pasture load.

Подзона, номер тестового участка	**Описание основных потенциальных изменений**
Растительный покров подзоны умеренно-засушливых степей. Тестовый участок №1	1. Исчезнут редкие виды, в основном эфемеры и эфемероиды. 2. Сократится обилие и разнообразие разнотравья, то есть богато-разнотравные сообщества станут разнотравными. 3. Уменьшится роль ковылей (*Stipa zalesskii, S. korshinskyi, S. Lessingiana*), а роль типчака (*Festuca valesiaca*), как вида, более устойчивого к засухе, возрастет. 4. С увеличением площади солонцеватых почв и солонцов увеличатся площади с грудницево-типчаковыми (*F. valesiaca, Galatella villosa*) и селитрянополынно-типчаковыми (*F. valesiaca, Artemisia nitrosa*) сообществами, причем с увеличением роли грудницы и полыни. 5. Интразональная растительность долины реки Убаган в случае сокра-щения стока воды, может измениться: сократится площадь кустарников и рощ, мезофитное разнотравье сменится мезоксерофитным, а затем ксерогалофитным, увеличатся площади, покрытые галофитными лугами.
Растительный покров подзоны засушливых степей. Тестовые участки №2, 3	1. Исчезнут редкие виды, в основном эфемеры и эфемероиды. 2. Сократится обилие и разнообразие разнотравья, т.е. разнотравно-дерновиннозлаковые сообщества станут дерновиннозлаковыми. 3. Уменьшится роль ковылей (*Stipa zalesskii, S. capillata, S. lessingiana*), а роль типчака (*F. valesiaca*) возрастет. 4. С увеличением площади солонцеватых почв и солонцов увеличатся площади, покрытые грудницево-типчаковыми (*F. valesiaca, G. villosa*) и полынно-типчаковыми (*F. valesiaca, A. nitrosa, A. frigida*) сообществами, причем с увеличением роли грудницы и полыни. 5. Интразональная растительность долины реки Убаган в случае сокра-щения стока воды может измениться следующим образом: группировки кустарниковых ив исчезнут или сильно сократится их площадь, возмож-но, их заменят гребенщики (виды рода *Tamarix*) с галофитными лугами и многолетнесолянковыми (*Salicornia herbacea, Obion everrucifera, Halocnemum strobilaceum*) сообществами. В долине реки Ишим сокра-тится площадь тополевых (*Populus nigra*), ветловых (*Salix alba*) и осино-во-березовых (*Betula pendula*) лесов, а камышево-разнотравно-трост-никовые (*Phragmites australis*) болота превратятся в тростниковые, разнотравно-злаковые и остепненные луга.
Растительный покров подзоны умеренно-сухих степей. Тестовые участки №4, 5	1. Исчезнут редкие виды, в основном эфемеры и эфемероиды. 2. Сократится разнообразие ксерофитного разнотравья. 3. Уменьшится роль ковылей (*S. capillata, S. lessingiana*) или произойдет их полное замещение типчаком (*F. valesiaca*). 4. В растительности холмистых и скалистых мелкосопочников большую роль станет играть петрофитное разнотравье и типчак.

Продолжение таблицы 5.

Подзона, номер тестового участка	Описание основных потенциальных изменений
Растительный покров подзоны умеренно-сухих степей. Тестовые участки №4, 5	Возможно сокращение, а в дальнейшем исчезновение овсеца (*Helictotrichon desertorum*) и тырсы (*S. capillata*). 5. Интразональная растительность долины реки Ишим в случае сокращения стока воды может претерпеть следующие изменения: сократится площадь кустарниковых зарослей, тростниковых (*Phragmites australis*), пырейных (*Elytrigia repens*) лугов, которые превратятся в остепненные луга. 6. С увеличением площади солонцеватых почв и усилением пастбищной нагрузки, увеличатся площади грудницево-типчаковых (*F. valesiaca, G. villosa*) и австрийско-полынно-типчаковых (*F. valesiaca, Artemisia austriaca*) сообществ, причем с постепенным вытеснением типчака полынью.
Растительный покров подзоны сухих степей. Тестовый участок №6	Территория сухих степей является переходной от подзоны опустыненных степей и очень близка к ней по особенностям растительного и почвенного покрова, которая к тому же подвержена сильной пастбищной нагрузке. Потенциально, в растительном покрове подзоны сухих степей с ростом частоты засух могут произойти нижеследующие изменения. 1. Исчезнут редкие виды, в основном эфемеры и эфемероиды. 2. Уменьшится роль ковылей (*S. lessingiana, S. sareptana*) или произойдет их полное замещение типчаком (*F. valesiaca*). Увеличится роль полыни (*Artemisia semiarida*) в сообществах, а местами полынь заместит типчак. 3. Интразональная растительность долин малых рек может претерпеть следующие изменения: сократятся площади с луговой растительностью, на смену которой придут остепненные галофитные сообщества.
Растительный покров подзоны опустыненной степи. Тестовый участок №7	1. Исчезнут редкие виды, в основном эфемеры и эфемероиды. 2. Уменьшится роль ковыля (*S. sareptana*) или произойдет его полное замещение типчаком (*F. valesiaca*). Увеличится роль полыни (*Artemisia gracilescens, A. semiarida*) в сообществах, а местами ее заменит типчак и ковыль. 3. С увеличением площади солонцеватых почв и солонцов увеличатся площади с полынными (*Artemisia gracilescens, A. semiarida, A. pauciflora*) сообществами. 4. Гидроморфные комплексы полынных (*A. nitrosa, A. schrenkiana*) и луговых сообществ сменятся многолетнесолянковыми сообществами.
Растительный покров подзоны северной пустыни. Тестовый участок №8	1. Исчезнут редкие виды, в основном эфемеры и эфемероиды. 2. Уменьшится роль ковылей (*S. sareptana, S. kirghisorum*) или произойдет их полное замещение мятликом (*P. bulbosa*) и эбелеком (виды р. *Ceratocarpus*). Увеличится роль полыни (*Artemisia terrae-albae, A. schrenkiana, A. semiarida, A. pauciflora*) в сообществах, а при усилении пастбищных нагрузок полынь заменят мятлик и однолетние солянки (виды родов *Ceratocarpus, Climacoptera* и др.).

В работе А.К. Щербаковой (1998) на обширном фактическом материале по осадкам и температурам показано, что наблюдается смещение географических зон Казахстана к северу, а это также подтверждает проявление усиления аридности на этих территориях.

Выводы

Проведенный анализ изменений вегетационных индексов (дифференциальные: NDVI, VCI. интегральные: IVI, IVCI), вычисленных по спутниковым данным NOAA/AVHRR для территории степной зоны Казахстана за период с 2000 по 2013 гг., позволил выявить некоторые закономерности.

1) Значения интегральных индексов вегетации имеют выраженную тенденцию к уменьшению. В большей степени наблюдаются изменения IVCI (характеристика влияния погодных условий сезона на состояние растительности) для подзоны северных пустынь.

2) Наблюдаются даты более раннего наступления вегетационного пика.

3) Значения NDVI на пике вегетации имеют тенденцию к уменьшению за период наблюдений, что наиболее интенсивно происходит в умеренно-засушливой и засушливой степных подзонах.

4) В течение периода наблюдений отмечается увеличение площадей участков с низкими значениями IVCI (<0.3).

5) Проведено районирование степной зоны Казахстана по состоянию растительности на основе спутниковой информации по значениям интегрального индекса вегетации IVInorm. С 2004 года фиксируется рост площадей с низкопродуктивной растительностью на участках, расположенных между 48.0 и 53.0 с.ш. параллелями. При этом в годы засух территория опустыненной степи практически полностью характеризуется значениями IVInorm<0.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бельгибаев М.Е. 2002. Диагностические показатели аридизации и опустынивания почв степной зоны Казахстана // Степной бюллетень. № 11. С. 52-54.

Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. 1999. Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. Алматы: Гылым. 230 с.

Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В. 2004. Климатология засухи на юго-востоке Русской равнины по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. № 1. С. 83-89.

Исследование пространственно-временных вариаций засушливых условий по состоянию растительного покрова на территории Казахстана на основе данных дистанционного зондирования земли из космоса. 2013. Грант 2013/АО «НЦКИТ». № ГР0113РК00285. Инв. № 0213РК01000. Алматы. 108 с.

Карта кормовых угодий Казахской ССР. 1978. Масштаб 1:1500000.

Карта растительности Казахстана. 2006. Масштаб 1:5000000 / Ред. Н.П. Огарь, Е.И. Рачковская // Национальный атлас РК. Т 1.

Карта растительности Казахстана и Средней Азии. 1995. Масштаб 1:2500000 / Ред. Е.И.Рачковская.

Карта экосистем Центральной Азии. 2005. Масштаб 1:2500000 / Ред. Е.И. Рачковская, Н.П. Огарь, Ю.Г. Евстифеев.

Огарь Н.П., Брагина Т.М. 1999. Трансформация экосистем и их компонентов: основные термины и понятия. // Трансформация природных экосистем и их компонентов при опустынивании. Алматы. С. 28-32.

Отчет о НИР «Исследование пространственно-временных вариаций засушливых условий по состоянию растительного покрова на территории Казахстана на основе данных

дистанционного зондирования земли из космоса», № госрегистрации 0113РК00285. 2013 // Алматы. 108 с.

Первое Национальное сообщение Республики Казахстан по рамочной конвенции ООН об изменении климата. 1998. Алматы. 73 с.

Сайт геологической службы США [Электронный ресурс http://www.glovis.usgs.gov].

III-VI Национальное Сообщение Республики Казахстан к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). 2013. Астана. 274 с.

Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. 2009. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. № 3. С. 28-32.

Щербакова А.К. 1998. Оценка смещения агроклиматических зон на территории Казахстана в зависимости от концентрации CO_2 и климатических изменений // Вестник КазГУ. № 7. С. 62-69.

Batyrbayeva M., Dolgikh S., Kauazov A., Muratova N., Salnikov V., Spivak L., Vitkovskaya I. 2014. Some results of satellite monitoring of vegetation cover of arid areas of Kazakhstan // IGARSS-2014. Canada. Quebec. P. 4707-4710.

Bokusheva R., Kogan F., Vitkovskaya I., Conradt S., Batyrbayeva M. 2016. Satellite-based vegetation health indices as a criteria for insuring against drought-related yield losses // Agricultural and Forest Meteorology. № 220. P. 200-206.

Gitelson A., Kogan F., Zakarin E., Spivak L., Lebed L. 1995. Estimation of seasonal dynamics of arid zone pasture and crop productivity using NOAA/AVHRR data. Final Report submitted to the Office of the Science Advisor USAID. 67 p.

Kogan F., Gitelson A., Zakarin E., Spivak L., Lebed L. 2003. AVHRR-Based Spectral Vegetation Index for Quantitative Assessment of Vegetation State and Productivity: Calibration and Validation // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 69. № 8. P. 899-906.

Kogan F.N. 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas // International Journal of Remote Sensing. Vol. 11. P. 1405-1419.

Muratova N.R., Severskaya S.M., Amanova N.T., Tcichueva N.Yu. 2011. Space monitoring of the ecological status of vegetation in areas of intense oil production // OIL & GAS. Space and oil-gas sector. Vol. 62. P. 143-151.

National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NOAA/NESDIS) [Электронный ресурс https://www.star.nesdis.noaa.gov/star/index.php].

Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium. NASA SP-351. Vol. 1. P. 309-317.

Seiler R.A., Kogan F., We Guo. 2000. Monitoring weather impact and crop yield from NOAA AVHRR data in Argentina // Advances in Space Research. Vol. 26. № 7. P. 1177-1185.

Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M. 2008. Analysis of inter seasonal variations of productivity of vegetative cover of Kazakhstan using temporal remote sensing rows // News of National Academy of Science of Kazakhstan. Physical-Mathematical Series. № 4. P. 29-32.

Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbaeva M., Terekhov A. 2009. Detection of desertification zones using multi-year rows of remote sensing data // Series “NATO science for peace and security: environmental security”. P. 235-239.

Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M., Terekhov A. 2012. The experience of land cover change detection by satellite data // Frontier of Earth Science. Vol. 6 (2). P. 140-146.

Sultangazin U., Muratova N., Terekhov A. 2006. Monitoring and assessment of spring crops in Kazakhstan // Agro-meteorological monitoring in Russia and Central Asian Countries / Ed. I. Savin, T. Negre. Institute for the Protection and Security of the Citizen. P. 85-103.

Propastin P., Kappas M., Erasm S., Muratova N.R. 2007. Remote sensing based study on intra-annual dynamics of vegetation and climate in drylands of Kazakhstan. Basic and Applied Dryland Research. № 2. P. 138-154 [Электронный ресурс http://www.badr-

online.de/vegetation_climate_kazakhastan].
Propastin P., Kappas M., Muratova N. 2008. A remote sensing based discrimination between climate/human-induced vegetation changes in Central Asia // Management of Environmental Quality: an International Journal. Vol. 19. № 5. P. 579-596.

SPATIAL-TEMPORAL PECULIARITIES OF CHANGES IN THE STEPPE VEGETATION STATE OF KAZAKHSTAN ACCORDIN TO THE SATELLITE IMAGERY

© 2017. L.F. Spivak*, M.Zh. Batyrbayeva, I.S. Vitkovskaya**, N.R. Muratova***, A.F. Islamgulova****

**State University "Dubna"*
Russia, 141982, Dubna, Moscow Region, University Str., 19. E-mail: levspivak@mail.ru
***National Center of Space Research and Technologies*
Kazakhstan, 050050, Almaty, Shevchenko Str., 15. E-mail: irinas_vit@mail.ru, madina-iki@mail.ru
****Research Institute of Ecology Problems KazNU Al-Farabi*
Kazakhstan, 050040, Almaty, Al-Farabi Avenue, 71. E-mail: nmuratova@rambler.ru

Modern methods of vegetation indices analysis calculated according to the satellite imagery data are the new tools that provide long-term information about vegetation state, used as well for detecting droughts and determining of the results of their impact. Spectral characteristics and spatial-temporal features of the state of the vegetation cover in the steppe zone of Kazakhstan, the most vulnerable to weather and anthropogenic factors, are the objects of study. To determine the patterns of their changes in the different agrarian and climatic zones, including under dry conditions, the territory was selected as transect, which included all subzones of the steppe zone. The conducted researches show the intensification of the stress effect of arid conditions on the vegetation cover of the steppe zone in Kazakhstan during the period from 2000 to 2013. Changes in the vegetation cover of various subzones of the steppe zone are evaluated in connection with the increase in the frequency of droughts and increase in pasture load. There is a wide variety of scenarios for the development of natural vegetation in the steppes of Kazakhstan under dry weather conditions.
Keywords: steppe zone, vegetation cover, remote sensing, spectral images of vegetation, vegetative indices.

ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 3, с. 146-188

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 574.474

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАРУШЕНИЙ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ И ЛАНДШАФТАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ[1]

© 2017 г. Ж.В. Кузьмина*, С.Е. Трешкин**

**Институт водных проблем Российской академии наук*
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru
***Федеральное агентство научных организаций*
Россия, 119334, г. Москва, Ленинский просп., д. 32а. E-mail: biost@yandex.ru

В работе изложен алгоритм установления нарушений в экосистемах и ландшафтах на основе совокупной оценки изменений нескольких живых и неживых компонентов экосистем. Заключительным этапом такой оценки нарушений является применение «Метода оценки нарушений в околоводных экосистемах при изменении обводненности территорий» (Кузьмина, Трешкин, 2012, 2014; Кузмина и др., 2013). Показаны биологические критерии и показатели, используемы для оценки нарушений при изменении обводненности территорий. Для использования метода подробно описаны требования к выбору и закладке модельных участков, проведению обследований, получению и обработке полученных полевых материалов, кроме того подробно описана работа с методом и даны практические примеры его применения для разных зон.

Ключевые слова: уровень грунтовых вод, ожелезнение и оглеение почв, пойменные экосистемы, динамика растительности, флуктуационная изменчивость, виды-индикаторы нарушений водного режима, изменение кормовой ценности лугов, биоразнообразие сообществ.

Вопрос о выявлении нарушений в наземных экосистемах связан в первую очередь с тем, к каким типам экосистем они относятся (Кузьмина, 2017). Для зональных экосистем основным лимитирующим фактором является термический режим, определяющийся географической зональностью, а нормальным состоянием считается климаксовое или близкое к нему, т.е. более-менее стабильное состояние, которое является заключительным в развивающейся сукцессии и может существовать неопределенно долгое время в результате достигнутого равновесия с физической средой (Данилов-Данильян и др., 2002).

Наземные околоводные интразональные (пойменные, долинные, прибрежные у озер, водохранилищ, прудов, морей) экосистемы отличаются от зональных прежде всего чрезвычайной динамичностью своего существования (появления, формирования, гибели). Это связано с определяющим, т.е. лимитирующим их существование, фактором среды – водным или гидрологическим, который по своей природе очень изменчив. Динамика русловых и гидрологических процессов в связи с естественными климатическими и антропогенными – гидротехническими воздействиями приводит к смене условий увлажнения и быстрым, а иногда и катастрофическим изменениям в экосистемах (Novikova et al., 1998, 2001; Трешкин, Кузьмина, 1989, 1993; Панкова и др., 1994, 1996; Кузьмина, 1997а, 2005а, б; Kuzmina, 2004; Kuzmina et al., 2005; Кузьмина и др., 2011а, б). Все это

[1] Работа выполнена по теме НИР 1.3.8 за 2013-2017 гг. «Разработка оценочных показателей и критериев трансформации наземных экосистем в связи с изменением водного режима территорий» в рамках научно-исследовательской работы (НИР) 1.3. фундаментальных исследований ИВП РАН «Разработка научных основ теории формирования качества вод суши, методов исследования динамики водных и наземных экосистем, совершенствование комплексного мониторинга водных объектов», № государственной регистрации 01201357580.

приводит к возникновению многочисленных переходных состояний (иногда также связанных с естественными внутренними процессами развития экосистем, например, возрастные стадии лесов) этих экосистем и сообществ, складывающихся в сукцессионные и трансформационные ряды, которые в некоторых могут случаях приводить к отдаленно напоминающим климаксовые – к так называемым “материнским ядрам” экосистем и сообществ (Сочава, 1972, 1979).

В настоящее время в оценке околоводных наземных экосистем и ландшафтов основные трудности возникают в связи с их чрезвычайной динамичностью, очень сильным прямым (фото 1) и косвенным (фото 2) антропогенным воздействием, климатическими изменениями (фото 3), возникающими многочисленными переходными состояниями экосистем и неразработанностью основных показателей и критериев оценки возникающих изменений (Кузьмина, 2017).

Фото 1. Изменение естественных экосистем при раскорчевке территории (удалении верхнего древесно-кустарникового яруса) является прямым антропогенным воздействием; водораздел р. Павловки, бассейн Верхней Волги, пос. Павловичи Талдомского района Московской области, июль 2017 г. (здесь и далее фото Ж.В. Кузьминой). **Photo 1.** Changes of natural ecosystems at the territory stubbing (removing of the top tree-shrub layer) is the direct anthropogenic impact; the Pavlovka river watershed, the Upper Volga basin, Pavlovichi, Taldom District, Moscow Region, July 2017 (here and below photos taken by Zh.V. Kuzmina).

В то же время встает вопрос, а как, собственно, возможно разделить изменения экосистем длительные, динамические, естественные, происходящие за очень продолжительный (многосотлетний или более) период, и современные (более краткие – менее ста лет) динамические, происходящие в результате антропогенных воздействий или климатических флуктуаций? Здесь невозможно обойтись без изучения многолетних климатических и гидрологических изменений, анализ которых даст ответ на вопрос о возможном нарушении влажностно-температурного режима территории по естественным или антропогенным причинам (Kuzmina, 2004; Kuzmina et al., 2005; Кузьмина, 2005а, б,

2007а, б, 2017; Кузьмина и др., 2011а, б; Кузьмина, Трешкин, 2014а, 2016а, б). В то же время, если не будут установлены климатические или гидрологические изменения для выбранной территории в условиях слабого прямого антропогенного воздействия, можно утверждать, что все изменения экосистем носят длительный естественный характер.

Фото 2. Косвенное антропогенное воздействие отмечается на прилегающих к плотинам и шлюзам территориях в результате воздействия измененной среды на изначальные экосистемы при зарегулировании речного стока; плотина со шлюзом у г. Штраубинг в бассейне верхнего Дуная, Германия, 1998 г. **Photo 2.** Indirect anthropogenic impact in the areas, adjoining dams and floodgates, as the result of the changed environment impact on the origin ecosystems during the overregulation of the river flow; the dam with a floodgate near Straubing, Germany, in the Upper Danube basin in 1998.

Данная работа посвящена разработке критериев и показателей оценки трансформаций наземных околоводных экосистем в целом (на основе совокупной оценки ее отдельных живых, неживых и условно-живых компонентов) в современных быстро меняющихся условиях среды (по естественным – климатическим и антропогенным – гидротехническим причинам).

Оценка нарушений околоводных наземных экосистем по основным эколого-биологическим показателям вследствие климатических и гидрологических изменений

Как отмечалось выше, для выявления и оценки нарушений околоводных экосистем необходимо выполнять работы по двум основным направлениям. В первую очередь необходимо оценивать многолетние изменения атмосферных осадков (Кузьмина, 2007а, б, в; Kuzmina, 2004) и речного стока (Кузьмина, 2005а, б; Кузьмина и др., 2000; Kuzmina et al., 2005) в районах работ и выявлять особенности затопления пойм при зарегулировании. После

этого следует изучать закономерности трансформации природной среды во времени, в том числе при зарегулировании (Кузьмина, 2005а, б): а) определять основные тенденции развития природных комплексов, б) устанавливать виды растений и сообщества – индикаторы зарегулирования или иначе – индикаторы изменения водного режима территорий, в) выявлять индикационное изменение структуры сообществ, г) строить эволюционно-динамические ряды природных комплексов для разных режимов фунционирования пойм.

Фото 3. Подтопление нижней и средней поймы р. Дубны в летний (обычно меженный) период в районе д. Окаемово в результате климатических изменений (гумидного потепления – увеличения выпадения атмосферных осадков на фоне повышения температуры воздуха), конец июля 2017 г., Сергиево-Посадский район Московской области, бассейн Верхней Волги. **Photo 3.** Flooding of the lower and middle floodplain of the Dubna river during summer period (usually, low water period), near Okayomovo, the Upper Volga basin, as the result of climatic changes (humid temperature rising), the end of July 2017, Sergiyevo-Posadsky District, Moscow region.

Установление способа оценки гидротехнического воздействия на экосистемы базируется на многолетних (1996-2010 гг.) полевых исследованиях авторов, которые проводились в разных зонах и подзонах: широколиственных лесов (бассейны рек Эльбы, Саале, Дуная), в лесостепной и степной (бассейн р. Сейм), полупустынной (бассейн Нижней Волги) и пустынной (бассейн рр. Амударьи, Теджен, Мургаб, Сумбар). Исследования проводились в разные по водности годы, на реках и их участках – с естественным (незарегулированным) стоком и при зарегулировании. Анализ полевых материалов проводился на основе многолетнего сравнения данных и мониторинга более 20 поперечных (расположенных перпендикулярно основному руслу водотоков) топо-экологических инструментальных профилей протяженностью от 300 м до 2 км, на которых проводились сезонные ежегодные наблюдения за изменением растительности, почв и уровнем грунтовых вод (УГВ) с подробным описанием растительности и почвенных разрезов, отбором почвенных проб для

дальнейших анализов и измерением установившегося уровня безнапорных грунтовых вод и открытой (свободной) поверхности водных объектов (рек, проток и каналов).

На основании анализа этого большого материала для установления влияния климатических изменений и антропогенного преобразования речного стока на растительность и экосистемы в целом была разработана система основных эколого-биологических показателей, изменение которых отражает возникновение и развитие процессов нарушений в экосистемах или иначе – развития гидрогенной динамики компонентов экосистем (Кузьмина, Трешкин, 2010), среди которых: а) изменение характера залегания уровня грунтовых вод в меженный период по сравнению с первоначальным (учитываются среднемноголетние значения УГВ), б) изменение в характере почвообразовательных процессов в почвах (мощность гумусового горизонта, солевой профиль, глубина глеевого горизонта, наличие ожелезнения), в) изменение структурной организации сообщества (сокращение количества ярусов), г) снижение продуктивности агро- и естественных биоценозов, д) обеднение состава экосистем (образование маловидовых, монодоминантных и сорнотравных биоценозов, непригодных для с/х производства), е) количественные и качественные изменения видового разнообразия естественных ценозов (в 2-5 раз) по сравнению с первоначальными, ж) сокращение флуктуационной изменчивости видового состава растительных сообществ (доля постоянных видов растений в нарушенных и переувлажненных экосистемах обычно превышает 70% от ежегодного и 50% от многолетнего флористического списка), з) присутствие в составе сообществ видов растений – индикаторов изменения водного режима территорий. Начальные изменения в экосистемах при развитии гидрогенной динамики (неогидроморфизма) выявляются по высокой скорости сукцессионных (необратимых) смен растительности и по быстрому изменению флористического состава в первые годы нарушений. Нарушения в ландшафтах под влиянием современного неогидроморфизма могут быть установлены на основе видов растений-индикаторов. Последние различаются по составу в зависимости от: а) гранулометрического состава почвообразующих пород, б) изменений характера залегания УГВ, в) изменений в распределении атмосферного увлажнения (в том числе вероятностного характера поверхностных затоплений). Данный подход к изучению трансформации экосистем под влиянием неогидроморфизма апробирован авторами (1999-2001 и 2009-2010 гг.) на конкретных ключевых участках как в зоне широколиственных лесов и лесостепи, так и в зоне южной тайги в разных исходных ландшафтно-экологических условиях.

Таким образом, прежде чем говорить об оценке нарушений в экосистемах, хотелось бы еще раз напомнить выделенные эколого-биологические показатели для наземных околоводных (долинных) экосистем, подробно рассмотренные в наших более ранних работах (Кузьмина, Трешкин, 2012, 2014б).

К стабильным или постоянным, т.е., как правило, изменяющимся постепенно и индицирующим в основном нарушения от антропогенных гидросооружений, относятся четыре группы эколого-биологических показателей.

а) изменение структурной организации растительных сообществ: по наличию и качеству изменений в ярусной структуре сообщества;

б) наличие (табл. 1) и количественная композиция в составе растительных сообществ видов растений – индикаторов изменения водного режима территории (по присутствию/отсутствию и общему количеству видов-индикаторов);

в) качественное и количественное проявление видов растений – индикаторов изменения водного режима территории (по обилию и проективному покрытию видов; табл. 2);

г) изменение кормовой ценности луговых сообществ (по количественным показателям участия сорнотравья в составе сообществ; табл. 3).

Таблица 1. Индикационное значение основных растений-индикаторов при зарегулировании низко- и средненапорных гидротехнических сооружений на основе доминирования (и/или субдоминирования) видов в луговых сообществах и в травяном ярусе лесов для зон южной тайги, смешанных и широколиственных лесов, а также лесостепи (Кузьмина, Трешкин, 2011, с дополнениями). **Table 1.** Indicating value of the general indicator-species during the regulation of the low-pressure and middle-pressure hydraulic structures, which is based on the domination (and/or subdomination) of the species in the grassland communities and in the forest herbaceous layer of the South Taiga area, mixed and deciduous forests, and forest-steppe (Кузьмина, Трешкин, 2011, with additions).

Доминирующие виды растений	**Гранулометрический состав почвогрунтов**	**УГВ в межень, м**	**Изменение характера паводковых затоплений**
Xanthium albinum, Xanthium strumarium на лугах	Глина, тяжелый суглинок	0.4-0.8	Частичное сокращение паводков
Glyceria maxima на лугах	Глина, тяжелый суглинок	0.4-0.8	Частичное сокращение паводков
Inula britannica на лугах	Тяжелый суглинок, глина с редкими прослоями среднего суглинка	1.4-1.9	Частичное сокращение паводков
Ranunculus repens, Crepis biennis на лугах	Легкий и средний суглинок	1.6-2.2	Частичное сокращение паводков
*Phragmites australis** на лугах и в лесах	Средний суглинок, иногда подстилаемый галькой	0.0-0.9	Почти полное прекращение; заливание только в катастрофические паводки
Potentilla anserina, Potentilla reptans на лугах	Тяжелый суглинок, глина	0.7-1.2	Почти полное прекращение; заливание только в катастрофические паводки
Polygonum amphibium на лугах (наземная форма)	Тяжелый суглинок, глина с редкими прослоями средний суглинка	1.2-2.3	Почти полное прекраще-ние; заливание только в катастрофические паводки
Equisetum arvense, Equisetum pretense на лугах	Средний, тяжелый суглинок	1.3-1.8	Почти полное прекра-щение; заливание только в катастрофические паводки
Sanguisorba officinalis на лугах	Легкий и средний суглинок	1.3-1.9	Почти полное прекраще-ние; заливание только в катастрофические паводки
Cirsium arvense, C. vulgare, C. incanum на лугах	Тяжелый и средний суглинок, глина	1.9-2.5	Почти полное прекращение; заливание только в катастрофические паводки

Продолжение таблицы 1.

Доминирующие виды растений	**Гранулометрический состав почвогрунтов**	**УГВ в межень, м**	**Изменение характера паводковых затоплений**
Carduus acanthoides на лугах	Легкий суглинок, песок иногда с глинистыми прослоями	2.4-3.0	Почти полное прекращение; заливание только в катастрофические паводки
Carduus personata, C. crispus, C. palustre, Cirsium pannonicum, Cirsium eriophorum на лугах и в разреженных лесах	Средний и тяжелый суглинок, глина иногда с прослоями песка	1.4-1.9	Полное прекращение паводков
Impatiens glandulifera в осветленных лесах	Легкий и средний суглинок, песок иногда подстилаемый галькой	1.2-1.9	Почти полное прекращение; заливание только в катастрофические паводки
Lysimachia vulgaris, Impatiens parviflora, I. noli-tangere в лесах	Тяжелый суглинок, глина с редкими прослоями среднего суглинка и песка	1.5-2.0	Полное прекращение паводков
Aegopodium podagraria в лесах	Легкий и средний суглинок, песок	1.8-2.5	Полное прекращение паводков
Urtica dioica на лугах и в лесах	Легкий и средний суглинок, песок иногда подстилаемый галькой	2.1-2.3	Почти полное прекраще-ние; заливание только в катастрофические паводки
Equisetum hyemale, Equisetum pratense, зеленые мхи в лесах	Средний и тяжелый суглинок	2.0-2.5	Полное прекращение паводков
Alliaria petiolata, Impatiens parviflora, I. noli-tangere в лесах	Тяжелый суглинок, глина с редкими прослоями среднего суглинка и песка	2.5-3.5	Полное прекращение паводков

Примечание к таблице 1: * – присутствие тростника в нехарактерных местообитаниях, например, в дубовых и тополевых лесах и на лугах средних и верхних уровней пойм.
Notes to the table 1: * – presence of the reed in the non-typical habitats, e.g. oak and poplar forests, on the grasslands of the flood-lands of middle and upper levels.

К динамичной совокупности эколого-биологических показателей, которые могут изменяться ежегодно и в целом индицируют процессы изменения увлажненности не только от антропогенного увлажнения, но и от естественного климатического воздействия, были отнесены две группы:

1) изменение видового разнообразия сообществ, т.е. количественные и качественные изменения показателей общего видового разнообразия за многолетний период (табл. 3);

2) флуктуационная изменчивость растительных сообществ, т.е. соотношения количественных показателей: ежегодного флористического списка, многолетнего (за 2-3 года) флористического списка, совокупности постоянных видов флоры от ежегодного и от многолетнего списков, совокупности сменяющихся видов флоры от ежегодного и от многолетнего списков (табл. 4-6).

Таблица 2. Оценка степени нарушений в пойменных ландшафтах по ее проявлениям в экосистемах на основе распространения индикаторных видов растений (в том числе сорняков) в результате зарегулирования НГС в зоне южной тайги, смешанных и широколиственных лесов, а также лесостепи (Кузьмина, Трешкин, 2011, с дополнениями). **Table 2.** Evaluation of the violations rate in the flood-lands landscapes by the rate's displaying in the ecosystems while being based on the vegetation indicator-species (and weeds) distributing as a result of low-pressure hydraulic structures regulation in the South Taiga area, mixed and deciduous forests, and forest-steppe (Кузьмина, Трешкин, 2011, with additions).

Степень опасности нарушений в ландшафтах	**Проявление индикаторных видов растений на лугах и в травяном ярусе лесов на площадках 10 м^2**	**Степень нарушенности пойменных экосистем и необходимость восстановительных (рекультивационных) мероприятий**
1 – не опасно	1-3 экземпляра вида (с обилием Un)	Практически естественное состояние экосистем, восстановление не требуется
2 – слабая	Более 10 экземпляров вида (с обилием sol-sp) и проективным покрытием вида до 20%	Слабо измененное состояние экосистем, необходимы локальные мероприятия по осушению поймы
3 – средняя	Образование не менее 10-15 микроочагов (куртин) вида диаметром 1-2 м с обилием sp gr – cop1	Средне измененное состояние экосистем, требуются локальные гидро- и лесотехнические мероприятия
4 – сильная	Полное слияние микроочагов и/или равномерное распространение вида по площади с обилием sp3 – cop1	Сильно измененное состояние экосистем, наряду с локальными (гидро- и лесотехническими) нужны мероприятия по изменению гидрологического режима реки
5 – очень сильная (полная деградация)	Полное доминирование вида (с обилием cop2-cop3), вплоть до образования монодоминантных сообществ	Полностью измененное состояние экосистем, требуются мероприятия по изменению гидрологического режима реки

Диагностика трансформаций природных комплексов речных долин проводилась на основе представлений о стадийности процессов. Были выявлены растения – индикаторы изменений пойменного режима при зарегулировании гидросооружений. Установлено индикационное значение изменений структуры сообществ. Оценена степень нарушений в околоводных наземных экосистемах и необходимость восстановительных от воздействия гидросооружений мероприятий в долинах рек. На всех реках (зарегулированных и не зарегулированных) для выявления и оценки изменений растительного покрова была использована типология растительных сообществ, отражающая признаки растительных сообществ с учетом его экологических и географических связей (Кузьмина, 1993, 1997б, в; Novikova et al., 2001).

Таблица 3. Биологические показатели экосистем, сопутствующие нарушениям водного режима территории в результате зарегулирования плотинами или климатических изменений (Кузьмина, Трешкин, 2011, с дополнениями). **Table 3.** Ecosystems biological indices, following the violations of the area's water regime as a result of the climatic changes and dams regulation (Кузьмина, Трешкин, 2011, with additions).

Степень нарушений	**Флуктуационная изменчивость (участие в сообществе постоянных видов растений от ежегодного* и многолетнего** списка флор)**	**Видовое разнообразие (леса, луга)**	**Продуктивность и кормовая ценность лугов**
1 – очень слабая (не опасно)	Менее 70%* Менее 50%**	Изменений нет	Изменений нет или очень слабое ухудшение (участие колючего сорнотравья не более 3% пр. п.***)
2 – слабая	Менее или равно 70%* Менее или равно 50%**	Изменения слабые <5%	Слабое ухудшение (участие колючего сорнотравья 3-7% пр. п.)
3 – средняя	Более 70%* Более 50%**	Сокращение на 5-25%	Падение кормовой ценности на 20-50%
4 – сильная	Более 70% – менее 80%* Более 50% – менее 60%**	Сокращение в 1.5-1.9 раза	Сокращение продуктивности в 1.5- 2 раза и кормовой ценности на 50-70%
5 – очень сильная	80-100%* Более 60%**	Сокращение в 2-4 раза	Сокращение продуктивности в 3-4 раза; полное падение кормовой ценности

Примечание к таблице 3: пр. п.*** – здесь и далее сокращение для проективного покрытия.
Note to the table 3: пр. п.*** – projective covering hereinafter.

Для унификации собственных данных с данными других исследователей использовалась разработанная нами шкала перевода оценок обилия древесных, кустарниковых и травяных видов из различных геоботанических систем (Кузьмина, Трешкин, 2001). Для сравнительного анализа использованы собственные и опубликованные геоботанические материалы, выполненные в период до зарегулирования рек, около 200 собственных почвенных разрезов и многочисленные бурения до УГВ.

Индикационное значение смен растительности при нарушении водного режима территорий возможно установить только при выполнении третьего этапа метода оценки нарушений экосистем. Таким образом, *наличие и степень нарушений в экосистемах* от гидротехнического воздействия или климатических изменений определяется только после *выявления наличия изменений водного режима территорий.*

На этом этапе в зависимости от гранулометрического состава почвогрунтов, залегания УГВ в межень и изменения характера паводковых затоплений устанавливаются виды растений – индикаторов изменения водного режима территории. Для зоны широколиственных лесов, лесостепи и полупустыни такими видами-индикаторами являются:

дурнишник *(Xanthium albinum, X. strumarium*), горец земноводный (*Polygonum amphibium),* различные виды бодяков, чертополохов, хвощей и другие (табл. 1).

Таблица 4. Изменение флористического состава экосистем постоянных модельных участков экологического профиля Банищанская дача (р. Сейм) в естественных условиях (без влияния регулирования стока) с 1996 по 2001 годы (Кузьмина, Трешкин, 2008). **Table 4.** Changes of the ecosystems floristic composition on the constant model areas of the ecological profile Banishchanskaya Dacha (the Seym River) under the natural conditions (without the influence of the flow regulation) during 1996-2001 (Кузьмина, Трешкин, 2008).

Название экосистемы (сообщества/ ассоциации)	*Недотрогово-ежевиковая с подростом вяза и ясеня*	*Купено-во-ясе-нево-дубовый лес*	*Черемухово-кленово-ольховый снытьевый лес*	*Ракитово-кленовый ежевиково-снытьевый лес*	*Ивовое чередово-крапивово-мятовое*	*Ивовое маннико-во-дву-кисточ-никовое*	*Разно-травно-злако-вое*
Ежегодное количество видов в сообществе	15-19	17-21	21-38	15-29	14-24	20-24	20-42
Постоянные виды от ежегодной флоры сообщества, % (<70%)	*64**	*65*	*68*	*53*	*68*	*65*	*63*
Постоянные виды от общей (многолетней) флоры сообщества, % (<50%)	*34*	*34*	*38*	*24*	*34*	*34*	*38*
Сменяющиеся виды от общей (многолетней) флоры сообщества, %	20	19	19	22	19	19	32

Примечания к таблице 4: * – в строке приведены значения среднего процента за все указанные годы мониторинга. **Notes to the table 4:** * – the line contains the values of the average percentage during all years of monitoring.

По проявлению установленных индикаторных видов растений на лугах и в травяном ярусе лесов можно установить степень нарушенности пойменных экосистем и необходимость восстановительных мероприятий. Нами была разработана 5-балльная шкала для оценки происходящих изменений (табл. 2). При этом равномерное распространение на лугах одного из индикаторных видов растений – наземной формы горца земноводного – после слияния его микроочагов и субдоминировании на верхней пойме зарегулированной

реки Саале (Германия) соответствует 4-ой (сильной) степени нарушения пойменных экосистем. Подобные нарушения 4-ой степени зарегистрированы нами также и при регулировании уровня воды бобрами в вегетационный период 2014 года в р. Костинка (бассейн Верхней Волги), где подъем уровня воды на 2 м способствовал сильнейшему разрастанию *Cirsium arvense* на средней пойме и формированию маловидовых двукисточниково-бодяковых сообществ (Ass. *Cirsium arvense–Phalaroides arundinacea*), состоящих всего из 8-и видов, при абсолютном доминировании первых 2 видов, остальные виды встречались очень редко (фото 4).

Для преодоления негативного последствия зарегулирования речного стока нужны мероприятия по изменению гидрологического режима реки (табл. 2).

Таким образом, подробно рассмотрев изменения всех ранее выделенных эколого-биологических показателей, нам удалось составить сводную таблицу постадийных изменений (нарушений) наземных околоводных экосистем при трансформации водного режима территории или климатических изменениях (табл. 7).

Таблица 5. Изменение флористического состава экосистем (флуктуационная изменчивость) в антропогенно измененной пойме (под влиянием Курчатовского водохранилища) в зоне широколиственных лесов на постоянных модельных участках инструментального профиля «Оброчное» в бассейне р. Сейм с 1996 по 2001 гг. (Кузьмина, Трешкин, 2008).
Table 5. Changes of the ecosystems floristic composition (fluctuation variability) in the anthropogenically changed flood-land (under the influence of the Kurchatov Reservoir) in the area of the deciduous forests on the constant model sites of the instrumental profile “Obrochnoye” in the basin of the Seym River during 1996-2001 (Кузьмина, Трешкин, 2008).

Название экосистемы (сообщества/ ассоциации)	*Вязово-липово-дубовый лес*	*Ежевиково-ивовая разно-травная*	*Осиново-дубовый лес*	*Ежевиково-ивовая осоковая*	*Вязово-дубово-липовый лес*
Ежегодное количество видов в сообществе	18-22	21-29	22-27	13-15	15-17
Постоянные виды от ежегодной флоры сообщества, % (<70%)	*96**	*71*	*83*	*85*	*75*
Постоянные виды от общей (многолетней) флоры сообщества, % (<50%)	*75*	*42*	*61*	*73*	*60*
Сменяющиеся виды от общей (многолетней) флоры сообщества, %	3	18	13	13	32

Примечания к таблице 5: * – в строке приведены значения среднего процента за все указанные годы мониторинга. **Notes to the table 5:** * – the line with the values of the average percentage during all years of monitoring.

В результате чего был разработан метод оценки гидротехнических и/или климатических изменений в наземных околоводных и долинных экосистемах по основным эколого-биологическим показателям, который достоверно диагностирует изменения и нарушения в экосистемах (Кузьмина, Трешкин, 2008, 2012).

Таблица 6. Изменение флористического состава тугайных экосистем (флуктуационная изменчивость) на модельных участках заповедника «Бадай-тугай» (Узбекистан) с 1996 по 2008 годы в антропогенно измененной пойме р. Амударьи (в зоне влияния Туямуюнского водохранилища), пустынная зона (Кузьмина, Трешкин, 2008). **Table 6.** Changes of the tugai ecosystems floristic composition (fluctuation variability) on the model sites of the Baday-Tugay Reservation, Uzbekistan, in the anthropogenically changed flood-land of the Amu Darya River (under the influence of the Tuya-Moyun Reservoir), in the desert zone, during 1996-2008 (Кузьмина, Трешкин, 2008).

Название экосистемы (сообщества/ ассоциации)	*Populus ariana–Erianthus ravennae-Glycyrrhiza glabra–Elymus multicaulis*	*Populus ariana–Zygophyllum fabago*	*Halostachys caspica–(Tamarix ramosissima)*	*Salix songarica–Populus ariana*	*Populus ariana–Tamarix ramasissima–Elymus multicaulis*	*Populus ariana–Elaeagnus turcomanica***
Ежегодное количество видов в сообществе	8-13	11-13	3-5	9	9-10	12-16
Постоянные виды от ежегодной флоры сообщества, % (<70%)	***80****	***79***	***79***	***78***	***74***	***65***
Постоянные виды от общей (многолетней) флоры сообщества, % (<50%)	***53***	***56***	***60***	***58***	***58***	***41***
Сменяющиеся виды от общей (многолетней) флоры сообщества, %	15	19	20	25	21	24

Примечание к таблице 6: * – в строке приведены значения среднего процента за все указанные годы; ** – молодой тугай *Populus ariana–Elaeagnus turcomanica* низкой поймы является аналогом естественной экосистемы (без зарегулирования стока), т.к. образовался после 1987 г. на бывшем обсохшем дне русла р. Амударьи, после падения среднего уровня воды из-за строительства Туямуюнского вдхр., поэтому имеет естественный показатель флуктуационной изменчивости сообщества, т.е. процент постоянной флоры выше предела неустойчивости (<70% от постоянной, <50% от ежегодной флоры). **Notes to the table 6:** * – the line contains the values of the average percentage during all years of monitoring; ** – young tugai *Populus ariana–Elaeagnus turcomanica* of the low flood-land is an analogue of the natural ecosystem (without the influence of the flow regulation), because it has formed after 1987 on a former dried up bottom of a river-bed, right after the degradation of the average water level in the Amu Darya River, caused by the building of the Tuya-Moyun Reservoir, so it has natural index of fluctuations variability of the community, which means that the percentage of the constant flora is higher than the unstableness limit (<70% of the constant flora, <50% of the annual flora).

Фото 4. Маловидовые двукисточниково-бодяковые луга характеризуют 4-ю (сильную) степень нарушений экосистем в результате изменения водного режима территории; средняя пойма р. Костинки у д. Вороново Талдомского района Московской области, бассейн Верхней Волги, июль 2014 г. **Photo 4.** *Phalaroides–Cirsium* meadows with a low quantity of species characterize the fourth (high) stage of the ecosystems violations as the result of the water regime changes on the territory; the middle floodplain of the Kostinka river, the Upper Volga basin, near Voronovo, Taldom District, Moscow Region, July 2014.

Метод оценки нарушений в околоводных экосистемах по биологическим показателям при изменении обводненности территорий (от естественных климатических и антропогенных гидротехнических воздействий)

Как было подробно рассмотрено в предыдущих работах (Кузьмина, Трешкин, 2008, 2011, 2012, 2014б), метод оценки нарушений околоводных экосистем по биологическим показателям выполняется при наличии уже установленных ранее каких-либо климатических (по влажностно-температурному режиму) или гидрологических (антропогенных или естественных) изменений на исследуемой территории.

Напомним более подробно основные этапы алгоритма выделения нарушений в обводненности территории (а, следовательно, и в нарушении экосистем) при климатических и/или гидротехнических изменениях (Кузьмина, 2007в; Кузьмина, Трешкин, 2008, 2012).

Установление направлений фоновых изменений гидрологических и метеорологических характеристик (или их отсутствия) для региона исследований:

- анализ изменений водного режима за весь период инструментальных наблюдений (колебание во времени среднегодовых, максимальных и минимальных уровней и расходов воды) и выявление направленных достоверно значимых трендов (или их отсутствия);
- выявление аналогичных и сезонных изменений атмосферных осадков и температуры воздуха с определением достоверно значимых трендов (или их отсутствия).

Таблица 7. Основные эколого-биологические (фитоценотические) показатели степени нарушений околоводных экосистем в результате изменения обводненности территории при зарегулировании и/или климатических изменениях (Кузьмина и др., 2015). **Table 7.** General ecological and biological (phytocoenotic) indices of the violation state of the near-water ecosystems as a result of the area's flooding during the regulation and/or climatic changes (Кузьмина и др., 2015).

Эколого-биологические (фитоценотические) показатели	**1. Ненарушенное (естественное)**	**2. Слабо нарушенное**	**3. Средне нарушенное**	**4. Сильно нарушенное**	**5. Полная деградация**
1. Стабильные или постоянные фитоценотические показатели, изменяющиеся постепенно					
а) изменение структурной организации растительных сообществ: по наличию и качеству изменений в ярусной структуре сообщества	5-6 ярусов (для леса) 3-4 яруса (для луга)	4 яруса (для леса) 2 яруса (для луга)	3 яруса (для леса) 2 яруса (для луга)	2 яруса (для леса) 1 ярус (для луга)	1 ярус (для леса) 1 ярус (для луга)
б) наличие* и количественная** композиция в составе растительных сообществ видов растений – индикаторов изменения водного режима территории (по присутствию /отсутствию и их кол-ву)	*Полностью отсутствуют или встречаются единично до 2 видов	*В составе сообщества 2 вида-индикатора	*В составе сообщества 2-3 вида-индикатора	*В составе сообщества более 3 видов-индикаторов	*В составе сообщества только виды-индикаторы
	**В малом обилии (sol-Un)	**В среднем обилии (sp-sp gr)	**В малом (один) и/или большом (другой) обилии	**В среднем и большом обилии (sp-cop3)	**В любом обилии
в) качественное и количественное проявление видов растений –индикаторов изменения водного режима территории (по их обилию и пр. п.)	1-3 экз. вида-индикатора (с обилием Un)	Более 10 экземпляров вида-индикатора (с обилием sol-sp) и пр. п. до 20%	Образование не менее 10-15 микро-очагов (куртин) вида диаметром 1-2 м с обилием sp gr-cop1	Полное слияние микро-очагов и/или равномерное распространение вида по площади с обилием sp3-cop1	Полное доминирование вида (с обилием cop2-cop3) вплоть до образования монодоминантных сообществ
г) изменение кормовой ценности луговых сообществ (по % сорнотравья)	Изменений нет (сорнотравья менее 3% от пр. п.)	Слабое ухудшение (сорнотравья 3-7% от пр. п.)	Падение кормовой ценности на 20-50%	Сокращение продуктивности в 1.5-2 раза и кормовой ценности на 50-70%	Сокращение продуктивности в 3-4 раза; полное падение кормовой ценности

Продолжение таблицы 7.

Эколого-биологические (фитоценотические) показатели	**1. Ненарушенное (естественное)**	**2. Слабо нарушенное**	**3. Средне нарушенное**	**4. Сильно нарушенное**	**5. Полная деградация**
2. Динамические эколого-биологические показатели, изменяющиеся ежегодно					
д) изменение видового разнообразия растительных сообществ, т.е. количественные* и качественные** изменения показателей общего видового разнообразия за многолетний период	*Изменений нет	*Изменения слабые, сокращение состава <5%	*Сокращение состава на 5-25%	*Сокращение состава в 1.5-1.9 раз	*Сокращение состава 2-4 раза
	**Единичные виды другой экологической приуроченности в малом обилии (до 7% от состава)	**70-93% видов сообщества типичной приуроченности (7-30% видов не характерного биотопа)	**50-70% видов сообщества типичной приуроченности (30-50% видов не характерного биотопа)	**25-50% видов сообщества типичной (от 51 до 74% видов не характерной экологической приуроченности)	**До 25% видов сообщества типичной (75% и более видов не характерной экологической приуроченности)
е) флуктуационная изменчивость растительных сообществ, т.е. соотношения количественных показателей: по присутствию постоянных видов растений от ежегодного* и многолетнего** (за 2-3 года) флористического списка	*Менее 70%	*Меньше или равно 70%	*Больше или равно 70%	*Более 70% – менее 80%	*80-100%
	**Менее 50%	**Меньше или равно 50%	**Равно или больше 50%	**Больше 50% – менее 60%	**Более 60%

Выявление наличия изменений в обводненности поймы, долины и/или водораздельной территории:

- сравнение характеристик водного режима для зарегулированных и незарегулированных (условно «естественных») рек и их участков, а также режима увлажнения для антропогенно нарушенных и ненарушенных водораздельных территорий при последующем учете совместного воздействия тенденций многолетних изменений с тенденциями зарегулирования (для долин рек) и/или тенденциями других антропогенных гидростроительных воздействий (для водораздельных территорий);
- выявление нарушений в ритмах частоты затопления пойм и долин (повторяемость затоплений для биотопов различных экологических уровней), а также в ритмах частоты большего или меньшего увлажнения водораздельных территорий;
- выявление изменений в амплитуде колебания УГВ и установление ее кризисных значений на основе сравнения таковой для естественных и нарушенных территорий (фото 5);

а)

б)

Фото 5. Положение грунтовых вод на гидротехнически (мелиоративно) измененной территории (а) в подтопленной части средней поймы р. Курга Сергиево-Посадского района Московской области, 22 июля 2015 г. (56° 40’ 45.2” с.ш., 38° 17’ 21.6” в.д., УГВ=1.23 м); и на неизмененной (естественной) территории (б) на средней пойме р. Вьюлка, бассейн Верхней Волги, между дд. Спас-Угол и Никитское Талдомского района Московской области, 31 июля 2015 г. (56° 51’ 08.0” с.ш., 37° 56’ 51.0” в.д., УГВ=2.20 м). **Photo 5.** Ground water position at the hydrotechnically (melioratively) changed territory (a) in the flooded part of the middle floodplain of the Kurga river, Sergiyevo-Posadsky District, Moscow Region, 22 of July 2015, (56° 40’ 45.2” N, 38° 17’ 21.6” L, GWL=1.23 m); and at the unchanged (natural) territory (б) in the middle floodplain of the Vyulka river, the Upper Volga Basin, between Spas-Ugol and Nikitskoye, Taldomsky Distrikt, Moscow Region, 31 of July 2015 (56° 51’ 08.0” N, 37° 56’ 51.0” L, GWL=2.20 m).

- выявление нарушений в распределении глеевых горизонтов и характера ожелезнения в почвенном профиле на основе сравнения таковой для естественных и нарушенных территорий (фото 6).

Определение наличия и степени нарушений в экосистемах:

- определение характера нарушений в эволюционно-динамических рядах природных комплексов для разных режимов функционирования пойм, долин и/или водораздельных территорий;
- выявление и использование видов растений – индикаторов изменения водного режима территории для определения наличия нарушений в экосистемах, в том числе на начальных стадиях процесса (фото 7);

а)

б)

в)

Фото 6. Оглеение (сизовато-серое и серовато-голубое) и ожелезнение (буровато-охристовое) в разной степени выраженности в почвенных образцах (а, б) долины р. Сейм (1997 г.) и в почвенном профиле нижней поймы р. Вьюлки (в) в бассейне Верхней Волги (22.07.2013). **Photo 6.** Gleying (bluish-gray and grayish-blue) and ferritization (brownish-ocherous) of the different intensity in the soil samples (а, б) of the valley of the Seym river in 1997 and in the soil profile of the lower floodplain of the Vyulka (в) in the Upper Volga basin in 22 of July 2013.

- определение и использование индикационных изменений в структуре экосистем для оценки степени их нарушенности и необходимости восстановительных мероприятий для них (фото 8).

Таким образом, метод оценки нарушений околоводных экосистем по биологическим показателям при естественных климатических и антропогенных гидротехнических изменениях является третьим этапом алгоритма для решения проблемы оценки влияния изменения обводненности территорий на наземные экосистемы. Этот алгоритм первоначально был разработан для оценки влияния нарушений от низконапорных гидротехнических сооружений (Кузьмина, 2007в). Но впоследствии он был доработан и расширен для оценки влияния не только от низконапорных, но и от всех видов гидротехнических сооружений (от низко- до высоконапорных), а также от климатических изменений (Кузьмина и др., 2011а, б, 2013; Кузьмина, Трешкин, 2012). Метод оценки нарушений околоводных экосистем по биологическим показателям успешно был опробован в нескольких природных зонах (южной тайги, широколиственных лесов и лесостепи, полупустынь и пустынь), где показал свою адекватность и надежность.

Приступим, наконец, к описанию самого метода оценки нарушений околоводных экосистем по биологическим показателям.

Как было рассмотрено выше (табл. 7), в оценке нарушений экосистем участвуют шесть показателей, которые можно получить при анализе геоботанических описаний модельных

участков изучаемой территории. При этом чрезвычайно важно выбрать участки, на которых будут проводиться исследования по методу оценки нарушений в экосистемах от изменения обводненности территории.

Фото 7. Маловидовые сообщества с доминированием сныти (Ass. *Aegopodium podagraria+Calamagrostis epigeios*) на бывшей высокой пойме р. Костинки указывают на полное отсутствие поверхностного затопления и на постоянное подтопление территории запруженными мелиоративными канавами (ныне перекрытыми малыми плотинами), июль 2017 г. **Photo 7.** Communities with a low quantity of species and with dominant *Aegopodium* (Ass. *Aegopodium podagraria+Calamagrostis epigeios*) in the former upper floodplain of the Kostinka river point out at the total absence of the surface flooding and the constant territory flooding by the dammed meliorative trenches (now blocked by the small dams), July 2017.

Выбор и закладка модельных участков.

1) Одним из самых важных этапов метода определения нарушений в экосистемах является правильное заложение модельных участков для проведения наблюдений.

А) Для пойменных, долинных и/или водораздельных территорий должен быть взят весь комплекс разнообразных биотопов для данной территории, если планируется устанавливать нарушения в экосистемах для всей территории в целом. Например, в пойме нужно заложить модельные участки для всех уровней поймы (верхнего, среднего и низкого), а также для основных и/или доминирующих по площади экосистем в пределах каждого уровня (аналогично для долины реки или водораздельной территории).

Б) Кроме того, модельные участки должны быть заложены не на границах экосистем или сообществ, а по возможности в центре целостных однородных массивов сообществ.

а)

б)

Фото 8. Нарушенное практически монодоминантное сообщество из *Carex gracilis* (а) на нижней пойме р. Костинки, образовавшееся в результате косвенного антропогенного воздействия – подтопления сериями малых земляных плотин на мелиоративных осушительных канавах (б), ранее служивших для осушения территории у д. Вороново Талдомского района Московской области, бассейн Верхней Волги, июль 2017 г.

Photo 8. Disturbed and almost monodominant community of *Carex gracilis* (a) in the lower floodplain of the Kostinka river, formed after the indirect anthropogenic impact, i.e. the flooding by a bunch of the small ground dams in the meliorative drainage trenches (б), which were used before for the draining of the territory near Voronovo, Taldomsky District, Moscow Region, the Upper Volga Basin, July 2017.

В) Для получения экологических показателей, сопутствующих биологическим показателям нарушений экосистем, модельные участки для мониторинга лучше закладывать перпендикулярно предполагаемому потоку безнапорных грунтовых вод.

Для реки участки следует располагать на перпендикулярной к руслу прямой (от террас к руслу) с тем, чтобы возможно было в случае необходимости уточнить направление потока безнапорных грунтовых вод (верховодки). Для водораздельных территорий (с неглубоким, в 5-7 м, залеганием грунтовых вод) аналогично, сверху вниз (и/или снизу вверх), если на изучаемой территории есть повышения или понижения.

Г) Очень важно при закладке модельных участков правильно выбрать территории по отношению к локальному антропогенному воздействию, в отличие от регионального, к которому относится влияние климата и гидротехнических сооружений. Т.е. необходимо свести все виды локального антропогенного воздействия, такие как рекреация, транспорт, распашка и другие, к минимуму. Выбранные участки не должны располагаться на дорогах или в непосредственной близости к ним, на распахиваемых территориях, городских пляжах или свалках и т.д., поскольку в этом случае метод может быть недостоверным. Самым лучшим заложением модельных участков для «метода оценки нарушений экосистем при изменении обводненности территории по биологическим показателям» следует считать территории заповедников, заказников и национальных парков (центральных их частей, т.е. подверженных наименьшей рекреации) или любых других территорий, наиболее отдаленных от жилищ или промышленности. Этот критерий выбора модельных участков необходим для того, чтобы отделить виды воздействий локальных антропогенных от региональных гидротехнических или климатических.

2) Размеры модельной площади определяются такими же, как при заложении стандартных геоботанических площадей. Это квадратные площадки: для луговых ценозов размером 10х10 м, а для лесных – 20х20 м.

3) Важным моментом является точное определение местоположения выбранных модельных участков (географические координаты по приборам GPS) с тем, чтобы в дальнейшем их было возможно найти при повторном обследовании (на второй и/или третий год). Для большей точности берутся координаты четырех углов каждой модельной площади.

4) В зависимости от целей, поставленных задач и размеров гидротехнического сооружения при оценке нарушений в экосистемах следует закладывать модельные участки как в верхних бьефах водохранилищ и плотин, так и в нижних, поскольку воздействие на экосистемы от средне- и высоконапорных гидросооружений в верхних бьефах сильно отличается от воздействия в нижних бьефах. В верхних бьефах плотин средне- и высоконапорных гидросооружений идет сильный процесс подтопления, в то время как в нижних бьефах, наоборот, идет процесс обсыхания. При этом для низконапорных гидросооружений и каскадов низконапорных плотин и шлюзов процессы для верхних и нижних бьефов различаются слабо.

Таким образом, на основании нескольких основных положений (наличие всего комплекса разнообразных биотопов, наиболее распространенных по площади; исключение заложения участков на границах фитоценозов; заложение серии участков перпендикулярно реке и/или потоку безнапорных грунтовых вод; исключение локального антропогенного воздействия; стандартность размера модельных участков; точная географическая привязка участков; закладка участков в нижних и верхних бьефах плотин и водохранилищ) выбираются и закладываются модельные участки. На них впоследствии устанавливают необходимую эколого-биологическую информацию, которая служит получению биологических показателей для оценки нарушенности околоводных наземных экосистем.

Проведение обследований на выбранных модельных участках.

1) Объект обследования. Как было подробно рассмотрено в предыдущих работах

(Кузьмина, Трешкин, 2008, 2011, 2017; Кузьмина и др., 2015), оценка нарушений околоводных экосистем по биологическим показателям проводится на основе обследования растительности той или иной территории, поскольку растительность является основным эдификатором для всей наземной околоводной экосистемы.

2) Синхронность и период наблюдений. Следует особо подчеркнуть, что время проведения полевых работ должно быть одинаковым во все годы исследований (2-3 года). Это должен быть один и тот же сезон года. Поскольку метод в основном оценивает нарушения в наземных околоводных экосистемах, а режим рек в России и в целом по миру достаточно различается, этим сезоном должен быть меженный период в пределах вегетационного цикла растительности. Понятно, что если меженный период реки приходится на глубокую зиму, то биологические показатели в северных широтах определить будет невозможно из-за анабиоза, в который впадает вся растительность зимой. В этом случае следует выбрать близкий к меженному период реки в пределах вегетационного цикла растительности в том или ином регионе. Меженный период выбирается из соображений доступности всех местообитаний (некоторые из которых могут быть затоплены и непроходимы во все другие периоды), а также из соображений адекватной (правильной) оценки положения и потока безнапорных грунтовых вод на выбранных модельных участках и экологических профилях.

3) Периодичность наблюдений. Для получения результатов по «методу оценки нарушений в околоводных экосистемах по биологическим показателям при изменении обводненности территорий» следует соблюдать периодичность наблюдений. Для получения результатов необходимо провести однократные исследования в один и тот же сезон как минимум два или три года, поскольку для установления динамических показателей (табл. 7) требуются многолетние исследования. Самым лучшим вариантом следует считать годы проведения исследований в самый влажный и самый сухой годы. Можно выбрать из уже имеющейся базы геоботанических описаний данные по участкам за самый влажный и самый сухой годы, также выполненные в один и тот же меженный сезон. Но если нет возможности получить данные в самые крайние по влажности годы, можно ограничиться последовательными двумя-тремя годами исследований.

4) Наблюдаемые характеристики. При проведении обследования растительности на модельной площади устанавливается:

– полный список всех видов высших растений за данный однократный период наблюдений;

– определяется обилие видов по стандартизированной нами шкале (табл. 8), при этом определять обилие в поле можно как по шкале Друде, так и по шкале Браун-Бланке, просто потом при статистической обработке данных следует перевести обилие в баллы по разработанному нами стандарту (табл. 8);

– для каждого вида устанавливается жизненность по разработанной нами пятибалльной шкале: 1 – растения с неполным или полным циклом развития, усохшие на 75-100%; 2 – растения с неполным или полным циклом развития, усохшие на 40-75%; 3 – растения с неполным циклом развития и слабым вегетативным размножением, с возможными элементами усыхания 25-40%; 4 – растения с неполным циклом развития и хорошим вегетативным размножением без элементов усыхания; 5 – растения, проходящие весь цикл развития и достигающие почти максимального или максимального габитуса, с возможными элементами усыхания до 25%.

– для каждой экосистемы, т.е. для каждого модельного участка устанавливается наличие ярусности в структуре сообществе (табл. 7);

– для каждого выделенного яруса устанавливается его жизнеспособность (жизненность), особенно для древесных и кустарниковых ярусов (на основе осреднения характеристики

жизненности основных его доминантов) с учетом наличия подроста и всходов;

– для луговых фитоценозов дополнительно устанавливается процент проективного покрытия колючего сорнотравья в сообществе (табл. 7);

Таблица 8. Переход к оценке баллами (при статистической обработке геоботанических описаний) для разных шкал обилия трав, деревьев и кустарников (Кузьмина, Трешкин, 2001).
Table 8. Transition to the scoring system (during the statistical processing of the geobotanical descriptions) for different herbs, trees and shrubs abundance scores (Кузьмина, Трешкин, 2001).

Перевод в баллы	**Шкала обилия О. Друде** (Drude, 1913) **для трав**		**Шкала обилия для кустарников и деревьев** (Трешкин, Кузьмина, 1989)	**Шкала обилия для кустарников и деревьев** (из литературы по Средней Азии)	**Шкала обилия Braun-Blanquet с дополнениями В.Б. Голуба**
	Значение	**Характеристика**	**Характеристика**	**Значение**	**Характеристика**
1	Un (unicum)	единственный экз.	от 1 до 3 экз.	Un-Sol	пр. п. <1%
2	sol (solitarie)	единично	от 4 до 7 экз.	Sp-Sp1	пр. п. 1-5%
3	sp (sparsae)	рассеянно	от 8 до 13 экз.	Sp gr-Sp2	пр. п. 6-15%
4	cop1 (copiosae)	довольно обильно	от 14 до 20 экз.	Sp3-Cop1	пр. п. 16-25%
5	cop2 (copiosae)	обильно	от 21 до 40 экз.	Cop2	пр. п. 26-50%
6	cop3 (copiosae)	очень обильно	от 41 до 60 экз.	Cop3	пр. п. >50%

Перевод в баллы	**Шкала обилия Braun-Blanquet** (Braun-Blanquet, 1964)		**Шкала обилия Braun-Blanquet с дополнениями J. Schrautzer** (Schrautzer, Wiebe, 1993)	
	Значение	**Характеристика**	**Значение**	**Характеристика**
1	r	1 экз., очень спорадически	r	пр. п.<5%
	+	2-5 экз. с пр. п.<5%	+	5%<пр. п.<10%
	I	6-50 экз. с пр. п.<5%		
	2m	более 50 экз. с пр. п.<5%		
2	2a	без учета кол-ва видов, с пр. п. 5-15%	I	10%<пр. п.<20%
3	2b	без учета кол-ва видов, с пр. п. 16-25%	II	20%<пр. п.<40%
4	3	без учета кол-ва видов, с пр. п. 26-50%	III	40%<пр. п.<60%
5	4	без учета кол-ва видов, с пр. п. 51-75%	IV	60%<пр. п.<80%
6	5	без учета кол-ва видов, с пр. п. 76-100%	V	пр. п.>80%

– для видов растений – индикаторов нарушения обводненности территории устанавливается качественное и количественное проявление этих видов по обилию и проективному покрытию в соответствии с 5-ю градациями ступеней нарушенности экосистем (табл. 7, графа в), если этих видов встречается более трех экземпляров на модельной площади, в качестве дополнительных характеристик определяются: высота (от и

до в среднем) и фенофаза каждого вида.

5) Точность наблюдений. При выполнении полевого обследования модельных участков необходимо отмечать абсолютно все виды высших растений, включая всходы первого года. Поверхностное – неполное – обследование растительности участка не даст качественных результатов по данному методу.

Таким образом, обследования на выбранных модельных участка проводят для растительности в один и тот же сезон года (в течении вегетационного периода), который соответствует меженному периоду режима реки, однократным обследованием участков в заданный сезон с периодичностью 2-3 года. Основными отмечаемыми характеристиками являются: точный и полный список видов высших растений, их обилие и жизненность, а также наличие ярусов в структуре сообщества, жизненность ярусов, процент проективного покрытия колючего сорнотравья в луговых сообществах.

Получение и первичная обработка полученных полевых данных.

1. *Составление сводных таблиц геоботанических описаний.* Для каждого из модельных участков за все 2-3 года обследования составляется сводная таблица геоботанических описаний (табл. 8). Она состоит из пяти (четырех) столбцов и множества строк (зависит от количества видов, встреченных на модельном участке за все годы наблюдений). В первом столбце отмечается номер вида растений по порядку. Во втором столбце отмечается название вида растения (обычно на латыни).

В третьем, четвертом и пятом столбцах таблицы 8 отмечается обилие вида в баллах за первый, второй и третий год исследований. Виды располагаются по ярусам, а внутри ярусов – по максимальному обилию.

После составления сводных таблиц геоботанических описаний для каждого из модельных участков за все 2-3 года наблюдений приступают к определению промежуточных значений стабильных или постоянных биологических показателей, которые, как правило, изменяются постепенно и индицируют региональные антропогенные нарушения от гидротехнического сооружения.

2. *Установление ярусности растительного сообщества на каждом модельном участке*. Дополнительно для каждого модельного участка в сводную таблицу геоботанических описаний вверху заносится количество ярусов в модельном сообществе для каждого года наблюдений и в скобках тут же ставится степень нарушенности по пятибалльной шкале для ярусности (табл. 7, графа а).

3. *Наличие и количество видов растений-индикаторов изменения обводненности территорий*. В составе модельного сообщества их выявляют по таблице основных значений растений-индикаторов (табл. 1, 9, 10) для каждого модельного участка. Сверху после шапки в дополнительную графу сводной таблицы описаний ставят степень нарушенности экосистем, определенную по 5-балльной шкале из таблицы 7 (графа б) для каждого года. Сами эти таблицы основных растений-индикаторов были установлены на основе наших собственных многолетних полевых наблюдений с привлечением данных научных публикаций (Груздева и др., 2015; Костюковский, 1988; Новикова, Назаренко, 2013; Новикова и др., 2014).

4. *По качественному и количественному проявлению видов растений-индикаторов* (по обилию и проективному покрытию видов растений-индикаторов изменения обводненности территорий) выявляют степень нарушенности экосистемы по таблице 7 (графа в). В сводной таблице геоботанических описаний для каждого установленного вида-индикатора вставляется дополнительная графа, где над обилием для каждого вида растения-индикатора отдельно в каждый из годов исследования проставляют степень нарушенности экосистем, определенную по шкале из таблицы 7 (от 1 до 5).

Таблица 9. Виды растений-индикаторов длительности затопления на берегах крупных водохранилищ на европейской части территории России (Новикова, Назаренко, 2013).
Table 9. Species, indicating the flooding duration at the shores of large reservoirs on the European part of Russia (Новикова, Назаренко, 2013).

Название растения		**Длительность затопления, дни**
русское	**латинское**	
Лесная зона		
Тростник обыкновенный	*Phragmites australis*	120-90
Рогоз широколистный	*Typha latifolia*	120-90
Ольха серая	*Alnus incana*	90
Ива ломкая	*Salix fragilis*	90
Манник большой	*Glyceria maxima*	90
Вахта трехлистная	*Menyanthes trifoliata*	90
Камыш лесной	*Scirpus sylvaticus*	90
Таволга вязолистная	*Filipendula ulmaria*	30
Сабельник болотный	*Comarum palustre*	20
Степная зона		
Тополь черный	*Populus nigra*	90
Ива белая	*Salix alba*	90
Рогоз широколистный	*Typha latifolia*	90
Осока пузырчатая	*Carex vesicaria*	63
Лисохвост коленчатый	*Alopecurus geniculatus*	48
Осока вздутая	*Carex rostrata*	43
Осока острая	*Carex acuta*	41
Осока лисья	*Carex leporina*	36
Пырей плзучий	*Elytrigia repens*	30
Солодка голая	*Glycyrrhiza glabra*	20
Солодка колючая	*Glycyrrhiza echinata*	20
Мятлик длиннолистный	*Poa angustifolia*	20
Овсяница луговая	*Festuca pratensis*	14
Пустынная зона		
Ива джунгарская	*Salix songarica*	90
Ива Вильгельма	*Salix wilhelmsiana*	90
Тамарикс многоветвистый	*Tamarix ramosissima*	90
Тополь разнолистный	*Populus diversifolia*	60
Лох узколистный	*Elaeagnus angustifolia*	40
Солодка голая	*Glycyrrhiza glabra*	20

Таблица 10. Виды растений – индикаторов степени подтопления на берегах водохранилищ на территории европейской части России (Новикова, Назаренко, 2013). *Условные обозначения*: ОП – осушная полоса, СП – пояс сильного подтопления, УП – пояс умеренного подтопления, СЛ – пояс слабого подтопления. **Table 10.** Species, indicating the flooding rate at the reservoirs shores on the European part of Russia (Новикова, Назаренко, 2013). *Legend*: DZ – drying zone, HFB – high flooding belt, MFB – medium flooding belt, LFB – low flooding belt.

№ п.п.	Название растения		Степень подтопления
	русское	латинское	
Лесная зона			
1	Череда трехраздельная	*Bidens tripartita*	ОП, СП
2	Куриное просо	*Echinochloa crus-galli*	ОП, СП
3	Щавель морской	*Rumex maritimus*	ОП
4	Девясил британский	*Inula britannica*	ОП, СП, УП
5	Зюзник европейский	*Lycopus europaeus*	ОП, СП, УП
6	Мята водяная	*Mentha aquatica*	ОП, СП
7	Полевица побегообразующая	*Agrostis stolonifera*	ОП, СП
8	Пырей ползучий	*Elytrigia repens*	ОП, СП
9	Рогоз широколистный	*Typha latifolia*	ОП, СП
10	Рогоз узколистный	*Typha angustifolia*	ОП, СП
11	Тростник обыкновенный	*Phragmites australis*	ОП, СП
12	Манник тростниковидный	*Glyceria arundinacea*	ОП, СП
13	Осока вздутая	*Carex rostrata*	ОП, СП
14	Осока острая	*Carex acuta*	ОП, СП
15	Ситник	*Juncus filiformis*	ОП, СП
16	Кипрей болотный	*Epilobium palustre*	ОП, СП
17	Хвощ приречный	*Equisetum fluviatile*	ОП, СП
18	Лютик жестколистный	*Ranunculus circinatus*	ОП, СП (пески)
19	Жерушник земноводный	*Rorippa amphibia*	ОП, СП
20	Частуха прибрежноводная	*Alisma plantago-aquatica*	ОП, СП
21	Щучка дернистая	*Deschampsia cespitosa*	ОП – СЛ
22	Мятлики	*Poa* spp. (*annua, remota, trivialis*)	ОП – СЛ
23	Канареечник канарский	*Phalaris canariensis*	ОП, СП
24	Лютик ползучий	*Ranunculus repens*	ОП – УП
Степная зона			
1	Канареечник канарский	*Phalaris canariensis*	СП
2	Бекмания	*Bekmania ericiformis*	ПП, УП
3	Осока вздутая	*Carex rostrata*	ПП, УП
4	Чистец болотный	*Stachys palustris*	ПП, УП
5	Дербенник иволистный	*Lythrum salicaria*	ПП, УП
6	Зюзник европейский	*Lycopus europaeus*	ПП, УП
7	Пырей ползучий	*Elytrigia repens*	УП
8	Костер безостый	*Bromopsis inermis*	УП, СП
9	Овсяница луговая	*Festuca pratensis*	УП, СП
10	Лисохвост луговый	*Alopecurus pratensis*	УП, СП
11	Полевица побегообразующая	*Agrostis stolonifera*	УП, СП
12	Мятлик однолетний	*Poa annua*	УП, СП

Продолжение таблицы 10.

№ п.п.	Название растения		Степень подтопления
	русское	латинское	
13	Вейник сероватый	*Calamagrostis canescens*	УП, СП
14	Полынь «божье дерево»	*Artemisia abrotanum*	УП, СП
15	Девясил британский	*Inula britannica*	УП, СП
16	Лапчатка ползучая	*Potentilla repens*	УП, СП
17	Подорожник большой	*Plantago major*	УП, СП
18	Полынь сантонинная	*Artemisia santonica*	УП, СП
19	Кермек Гмелина	*Limonium gmelinii*	СП
20	Бескильница гигантская	*Puccinellia gigantea*	СП
21	Ситник Жерарда	*Juncus jerardii*	СП
22	Полынок (полынь австрийская)	*Artemisia austriaca*	СП
23	Тысячелистник мелкоцветковый	*Ahillea micrantha*	СП
24	Осока ранняя	*Carex praecox*	ОП, СП
25	Осока поникшая	*Carex humilis*	ОП, СП
26	Солерос европейский	*Salicornia europaea*	ОП
27	Тростник обыкновенный	*Phragmites australis*	ОП, СП
Пустынная зона			
1	Гребенщик щетинистоволосистый	*Tamarix hispida*	ОП, СЛ
2	Гребенщик многоветвистый	*Tamarix ramosissima*	СП
3	Вейник наземный	*Calamagrostis dubia*	СП
4	Бодяк щетинистый	*Cirsium ochrolepidium*	СП
5	Парнолистник амударьинсткий	*Zygophyllum oxyanum*	УП
6	Тростник обыкновенный	*Phragmites australis*	ОП, СП
7	Рогоз широколистный	*Typha latifolia*	*ОП, СП*
8	Верблюжья колючка	*Alhagi pseudalhagi*	*СП - СЛ*
9	Карелиния каспийская	*Karelinia caspia*	*СП - СЛ*
10	Солодка голая	*Glycyrrhiza glabra*	*УП, СЛ*
11	Соляноколосник каспийский	*Halostachys caspica*	*УП, СЛ*
12	Прибрежница солончаковая	*Aeluropus littoralis*	*СП, УП, СЛ*
13	Росичка кроваво-красная	*Digitaria sanguinalis*	*СП, УП*
14	Свинорой пальчатый	*Cynodon dactylon*	*СП, УП*
15	Селитрянка Шобера	*Nitraria shoberi*	*УП*
16	Дереза туркменская	*Lycium turcomanica*	*УП*
17	Дереза русская	*Lycium ruthenicum*	*УП, СЛ*
18	Осока береговая	*Carex riparia*	*ОП, СП*
19	Скрытница колючая	*Crypsis aculeata*	*ОП*
20	Элеохарис туркменский	*Eleocharis turcomanica*	*ОП*
21	Подорожник большой	*Plantago major*	*ОП, СП*
22	Подорожник ланцетолистный	*Plantago lanceolata*	*ОП, СП*
23	Щетинник зеленый	*Setaria viridis*	*СП, УП*
24	Осот полевой	*Sochus oleraceus*	*ОП*
25	Латук татарский	*Lactuca tataricum*	*ОП*
26	Вьюнок полевой	*Convolvulus arvensis*	*ОП, СП*

5. *Для луговых экосистем изменение кормовой ценности* сообщества устанавливается по проценту проективного покрытия колючего сорнотравья, в соответствии с которой устанавливается степень нарушенности экосистем (по таблице 7, графа г) для каждого модельного участка за каждый год исследований. Сверху в дополнительную графу сводной таблицы геоботанических описаний вносится значение нарушенности кормовой ценности экосистем по пяти ступеням (от 1 до 5).

Кроме определения промежуточных значений стабильных биологических показателей при первоначальной обработке полевых данных модельных участков за многолетний (2-3-летний) период определяются также и некоторые промежуточные значения динамических биологических показателей степени нарушенности экосистем в результате изменения водного режима территорий.

6. *Изменение видового разнообразия*. Если у исследователя есть первоначальные данные по видовому составу растительных сообществ в период до возникших нарушений (т.е. в естественном состоянии), то общее количество видов за многолетний период, зарегистрированное по предлагаемому методу, сравнивается с ранее имеющимся списком видов и устанавливаются процентные изменения видового разнообразия или его отсутствие по таблице 7 (графа д*).

Таким образом, при наличии первоначальных (исторических) данных о составе ненарушенного сообщества для модельного участке устанавливаются три промежуточных значения для каждого года исследований, которые показывают процентное отношение современного ежегодного состава видов растений к историческому составу сообщества (полученному из дополнительных источников). Полученные значения сравниваются с изменениями по пятибалльной шкале степеней нарушенности экосистем из таблицы 7 (графа д*). Записываем эти три значения (для трех лет исследования) в последнюю графу таблицы (табл. 11-13).

В случае если у исследователя отсутствуют данные о ненарушенном составе сообщества, следует выполнить первичную оценку экологической (биотопической) приуроченности всех видов растений, встреченных на участке. Выполнение первичной оценки экологической (биотопической) приуроченности видов следует начинать с установления экологической (биотопической) характеристики для каждого отдельного вида из общего многолетнего списка видов растений выбранного модельного участка отдельно (по сводной геоботанической таблице описаний).

В ней справа вставляется последняя дополнительная колонка (шестая, если три года исследований; табл. 11, 12, 13; и четвертая и/или пятая колонка, если один-два года исследований), в которой вписывается приуроченность вида, например, ксерофит (К), мезофит (М), гигрофит (Г), гидрофит (ГГ), а также промежуточные значения биотопической приуроченности: ксеромезофит (КМ), мезоксерофит (МК), мезогигрофит (МГ), гигромезофит (ГМ). Внизу, в последней графе последнего столбца, подсчитывается общее количество растений, попадающих в одну из трех групп: ксерофиты (К+КМ), мезофиты (М+МК+МГ), гигрофиты (Г+ГМ), гидрофиты (ГГГ+ГГ).

Таким образом, для каждого модельного участка при трехлетних исследованиях получаем девять промежуточных значений динамического показателя видового разнообразия. Показатели экологической приуроченности для каждого вида растения можно брать из литературных источников, а также из электронного ресурса Plantarium.ru (http://www.plantarium.ru).

7. По сводной таблице геоботанических описаний устанавливаем *состав ежегодного списка видов растений* (просчитываем количество зарегистрированных видов для каждого года) и вставляем полученные значения в нижнюю графу таблицы (табл. 11-13). Кроме того, по этой же сводной таблице геоботанических описаний устанавливаем количество постоянно

встречающихся видов растений за многолетний (2-3-летний) период наблюдений, вне зависимости от их обилия.

Таблица 11. Пример выполнения расчетов по методу оценки нарушений в наземных экосистемах по биологическим показателям для яснотково-снытьево-дубово-вязового леса верхней поймы реки Саале (Германия) в зоне широколиственных лесов, нарушенного в результате зарегулирования. **Table 11.** An example of calculations based on the method of violations evaluation in the terrestrial ecosystems by their biological indices, for Lamium-Aegopodium-Oak-Elm forest, violated by the regulations, in the upper flood-land of the Saale River, Germany, in deciduous forests area.

№ вида / качество показателя	**Название вида по латыни**	**Годы наблюдений**			**Видовое разно-образие**	**Ре-зуль-тат**
		1999	**2000**	**2001**		
Стабильный	Ярусность	2 (4)	2 (4)	2 (4)	–	4
Стабильный	Состав индикаторов и композиция	3	3	3	–	3
Стабильный	Изменение кормовой ценности лугов	нет	нет	нет	–	нет
Стабильный	Качество и количество индикаторов	2,5	4	3	–	3
1	*Quercus robur*	2 экз.	2 экз.	2 экз.	К, М	
2	*Acer platanoides*	5 экз.	2 экз.	2 экз.	М	
3	*Ulmus glabra*	1 экз.	1 экз.	1 экз.	М, Г	
4	*Ulmus laevis*	3 экз.	3 экз.	3 экз.	М, Г	
5	*Fraxinus excelsior*	3 экз.	3 экз.	3 экз.	М, Г	
6	*Ulmus minor*	30 экз.	29 экз.	25 экз	К, М	
7	*Crataegus rhipidophylla*	4 экз.	4 экз.	4 экз.	М	
8	*Malys sylvestris*	–	1 экз.	–	М	
9	*Sambucus nigra*	1 экз.	1 экз.	1 экз.	М	
10	*Acer campestre*	4 экз.	4 экз.	–	М	
11	*Fraxinus ornus*	5 экз.	–	–	К, М	
12	*Crataegus laevigata*	3 экз.	3 экз.	3 экз.	М	
13	*Rubus caesius*	1 экз.	sol	sol	М	
14	*Galium aparine*	cop1	sol	sol	М	
15	*Glechoma hederacea*	sp	cop2	cop2	М, Г	
16	*Lamium maculatum*	sp gr	cop1	cop1	М	
Промежуточный	*Качество и количество индикаторов*	4	4	5	–	
17	*Aegopodium podagraria*	cop 1	cop 1	cop2	М	
18	*Ranunculus ficaria*	cop2	–	–	М, Г	
19	*Geum urbanum*	sol	sp gr	sol gr	М	
20	*Lamium album*	sol	sp	–	М	
21	*Dactylis glomerata*	–	sp	sol gr	М	
22	*Festuca gigantea*	–	sol	sol gr	М, Г	
23	*Chaerophyllum hirsutum*	sp	–	sol	М	
24	*Viola collina*	sol	sol	Un	М	
25	*Anthriscus sylvestris*	sol	sol	sol	М	

Продолжение таблицы 11.

№ вида / качество показателя	Название вида по латыни	Годы наблюдений			Видовое разнообразие	Результат
		1999	2000	2001		
Промежуточный	*Качество и количество индикаторов*	1		1		
26	*Urtica dioica*	sol	–	Un	М, Г	
27	*Poa palustris*	sol	–	–	М, Г	
28	*Agrostis gigantea*	sol	–	–	М, Г	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% КМ	3(12%)	2(9%)	2(9%)	3(11%)	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% М	14(56%)	15(68%)	13(62%)	16(57%)	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% МГ	8(32%)	5(23%)	6(29%)	9(32%)	
Динамический	**Изменение видового разнообразия**	3	3	3	3	**3**
Промежуточный	*Число постоянных видов*	*16*	*16*	*16*		
Промежуточный	*Ежегодный список видов*	*25*	*22*	*21*		
Промежуточный	*Постоянные виды ежегодно* (<70%)	*64*	*73*	*76*		71
Промежуточный	*Постоянные виды от многолетнего списка* (<50%)					57
Динамический	**Флуктуационная изменчивость**					**3**
	СТЕПЕНЬ НАРУШЕННОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ					**3**

Выделяем те виды растений, которые встречались во все годы исследования. Это число будет одинаковым для всех трех лет наблюдений. Число постоянных видов растений одинаково для всех трех лет исследований. Вставляем дополнительную графу – предпоследнюю, куда вписываем по три одинаковых числа (для всех трех лет наблюдений), соответствующих количеству постоянных видов на площади.

Таким образом, в процессе первичной обработки полевых данных по описанию растительных сообществ на модельных участках за 2-3-летний период мы получаем как промежуточные значения стабильных биологических показателей, так и промежуточные значения динамических биологических показателей.

К стабильным промежуточным показателям относятся:

– качественное проявление всех видов-индикаторов в сообществе отдельно для каждого вида-индикатора и для каждого года исследования (получаем три промежуточных значения, если три года исследований, для каждого модельного участка);

– изменение структурной организации сообществ – экосистем по ярусности для каждого года исследований по каждому модельному описанию (для каждого модельного участка получаем три промежуточных значения, если было три года исследований);

– наличие и количественную композицию видов-индикаторов (по обилию и проективному покрытию видов-индикаторов) для каждого вида растения-индикатора отдельно в пределах модельного участка за каждый год исследования (если в сообществе зарегистрировано два вида-индикатора, то получаем шесть промежуточных значений для трех лет наблюдений на одном модельном участке);

– изменение кормовой ценности (для лугов) на каждом модельном участке для каждого

года исследования отдельно (три промежуточных значения, при трехлетнем исследовании, для одного участка).

Таблица 12. Пример выполнения расчетов по методу оценки нарушений в наземных экосистемах по биологическим показателям для березово-елового леса водораздельной поверхности бассейна Верхней Волги (р. Кильма) в зоне южной тайги, нарушенного в результате климатических изменений. **Таблица 12.** An example of calculations based on the method of violations evaluation in the terrestrial ecosystems by their biological indices, for Betula-Spruce forest, violated by the regulations, on the watershed of the Upper Volga (the Kilma River) basin in the South Taiga area.

№ вида/ качество показателя	**Название вида по латыни**	**Годы наблюдений**			**Видовое разнообразие**	**Результат**
		2011	**2012**	**2013**		
Стабильный	Ярусность	1 (5)	1 (5)	1 (5)		**5**
Стабильный	Состав индикаторов и композиция	нет	нет	нет		нет
Стабильный	Изменение кормовой ценности лугов	нет	нет	нет		нет
Стабильный	Качество и количество индикаторов	нет	нет	нет		нет
1	*Picea abies*	25 экз.	23 экз.	23 экз.	М	
2	*Betula pendula*	25 экз.	22 экз.	21 экз.	М	
3	*Populus tremula*	2 экз.	3 экз.	3 экз.	М	
4	*Quercus robur*	3 экз.	2 экз.	2 экз.	К, М	
5	*Corylus avellana*	13 экз.	14 экз.	18 экз.	М	
6	*Viburnum opulus*	5 экз.	10 экз.	15 экз.	М, Г	
7	*Sorbus aucuparia*	sol gr	7 экз.	14 экз.	М	
8	*Lonicera xylosteum*	–	–	1 экз.	М	
9	*Frangula alnus*	–	1 экз.	1 экз.	М	
10	*Malus sylvestris*	–	–	1 экз.	М	
11	*Rubus saxatilis*	sol	sol	sol	М, Г	
12	*Vaccinium myrtillus*	sol	sol	sol	М	
13	*Vaccinium vitis-idaea*	–	–	Un	М	
14	*Oxalis acetosella*	sp gr	sp	sp	М, Г	
15	*Luzula pilosa*	sol	sol	sol	М	
16	*Majanthemum bifolium*	sol	sol	sol	М	
17	*Trientalis europaea*	sol	sol	sol	М, Г	
18	*Stellaria holostea*	sol	sol	sol	М	
19	*Solidago virgaurea*	Un	–	Un	М	
20	*Paris quadrifolia*	sol	Un	Un	М	
21	*Ajuga reptans*	sol	sol	sol	М	
22	*Dryopteris carthusiana*	sol	sol	sol	М, Г	
23	*Carex pallescens*	sol	sol	sol	М	
24	*Angelica sylvestris*	Un	Un	sol	М, Г	
25	*Poa palustris*	–	sol	–	М, Г	

Продолжение таблицы 12.

№ вида/ качество показателя	**Название вида по латыни**	**Годы наблюдений**			**Видовое разнооб-разие**	**Ре-зуль-тат**
		2011	**2012**	**2013**		
26 27	*Asarum europaeum* *Convallaria majalis*	sol –	Un Un	sol –	M M	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% КМ	1(4%)	1(4%)	1(4%)	1(4%)	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% М	14 (67%)	15 (66%)	18 (72%)	19 (70%)	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% МГ	6 (29%)	7 (30%)	6 (24%)	7(26%)	
Динамический	**Изменение видового разнообразия**	3	3	3	3	**3**
Промежуточный	*Число постоянных видов*	*20*	*20*	*20*		
Промежуточный	*Ежегодный список видов*	*21*	*23*	*25*		
Промежуточный	*Постоянные виды ежегодно* (<70%)	*95*	*87*	*80*		*87*
Промежуточный	*Постоянные виды от многолетнего списка* (<50%)					*74*
Динамический	**Флуктуационная изменчивость**					**5**
	СТЕПЕНЬ НАРУШЕННОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ					**4**

К динамическим промежуточным значениям относятся:

– количество общего (многолетнего, за 2-3 года) состава всех видов растений для каждого из модельных участков по сводным таблицам геоботанических описаний (получаем одно промежуточное значение для каждого из модельных участков вне зависимости от количества лет исследований – 2 или 3 года);

– состав ежегодного списка растений для каждого участка и для каждого из годов наблюдений (три промежуточных значения для каждого модельного участка);

– количество постоянно встречающихся видов растений для каждого модельного участка (одно промежуточное значение для каждого участка);

– количественные значения видов для каждой экологической группы в каждом модельном описании для каждого года исследований (например, для трех экологических групп растений-гигрофитов, мезофитов и ксерофитов при трехлетних исследованиях будет получено девять промежуточных значений для каждого модельного участка).

Анализ полученных полевых данных и оценка нарушений в экосистемах. Следующий, заключительный этап анализа полученных промежуточных стабильных и промежуточных динамических показателей позволит нам оценить степень нарушенности экосистем в результате изменения водного режима территории.

Итак, мы получили сводную геоботаническую таблицу (табл. 11-13) со множеством дополнительных граф. В самый конец таблицы (табл. 11-13) вставляем дополнительный, конечный, седьмой столбец, в который заносим результирующие значения по всем трем (двум) годам исследования.

1) Первая графа сверху после шапки отражает количество ярусов и – в скобках – степень нарушенности по таблице 7. Усредняем для трех лет исследования. Но, поскольку ярусы выражаются только целым числом, ставим ту цифру, которая встречается чаще. Например, если за два года исследований на модельном участке было три яруса в сообществе, а один

год – два яруса, окончательно ставим значение три. Если у нас только два года исследований, то ставим меньшее значение из двух имеющихся. Так же поступаем и с цифрами в скобках. В результирующую колонку также ставим два значения: одна цифра – это осредненное количество ярусов, а в скобках – степень нарушенности. Две цифры ставим постольку, поскольку для луговой растительности встречаются степени нарушенности с одинаковым количеством ярусов, например, второй и третьей степени нарушенности соответствуют двухъярусное строение сообщества так же, как четвертой и пятой степени нарушенности – одноярусное строение сообщества.

Таблица 13. Пример выполнения расчетов по методу оценки нарушений в наземных экосистемах по биологическим показателям для разнотравно-сорнотравно-злакового луга г. Льгова (средняя пойма р. Сейм, бассейн Днепра) в зоне лесостепи, нарушенного в результате зарегулирования. **Таблица 13.** An example of calculations based on the method of violations evaluation in the terrestrial ecosystems by their biological indices, for the mixed-weeds-reeds grassland, violated by the regulations, in Lgov (middle flood-land of the Seym River, the Dnepr River basin) in steppe-forest zone.

№ вида/ качество показателя	**Название вида по латыни**	**Годы наблюдений**			**Видовое разнообразие**	**Результат**
		1996	**1997**	**1998**		
Стабильный	Ярусность	2 (3-4)	2 (3-4)	2 (3-4)		3
Стабильный	Состав индикаторов и композиция	3	4	4		4
Стабильный	Изменение кормовой ценности лугов	4	5	4		4
Стабильный	Качество и количество индикаторов	3	3	3		3
1	*Bromopsis inermis*	cop2	sol	sol	К, М	
Промежуточный	*Качество и количество индикаторов*	3	4	3		
2	*Cirsium arvense*	sp	cop1	sp gr	К, М	
Промежуточный	*Качество и количество индикаторов*	3	4	4		
3	*Carduus acanthoides*	sp	cop2	sol	К, М	
4	*Phleum pratensis*	cop1	cop1	cop1	М, Г	
Промежуточный	*Качество и количество индикаторов*	4	4	4		
5	*Poa annua*	cop2	cop1 gr	cop1	М	
6	*Agrostis gigantea*	sol	sp	cop1	М, Г	
7	*Prunella vulgaris*	sol	sol-sp	cop1	М	
8	*Achillea millefolium*	sp	sol	sp gr	К, М	
9	*Carex sp.*	sol	sp gr	sp gr	М	
10	*Lotus corniculatus*	cop2	sp	sp	К, М	
11	*Trifolium pratense*	sol	sol	sol	М	
12	*Leontodon autumnalis*	sp-sol	sol	sol	М	
13	*Berteroa incana*	sol	sol	sol	К, М	
14	*Plantago media*	sol	sol-Un	sol-Un	К, М	
15	*Veronica chamaedrys*	sol	sol	sp	М	
16	*Medicago falcata*	sol	sp gr	sp gr	М	
17	*Taraxacum officinale*	sol	sol	sol	М	

Продолжение таблицы 13.

№ вида/ качество показателя	Название вида по латыни	Годы наблюдений			Видовое разно-образие	Ре-зуль-тат
		1996	1997	1998		
18	*Cichorium intybus*	sol	sol	sol	К, М	
19	*Galium verum*	sol	sol	sol	М	
20	*Glechoma hederacea*	sol gr	sp gr	–	М, Г	
21	*Lolium perenne*	sol gr	sp gr	–	М	
22	*Plantago lanceolata*	–	sol-Un	sol-Un	М	
23	*Trifolium repens*	–	sol	sol	М	
24	*Cerastium holosteoides*	–	sol	sol	М	
25	*Convolvulus arvensis*	–	sol	sol	К, М	
Промежуточный	*Качество и количество индикаторов*		3	3		
26	*Deschampsia cespitosa*	–	sp	sp gr	М, Г	
27	*Onopordum acanthium*	sol	–	sp	К, М	
28	*Dactylis glomerata*	sol	–	–	М	
29	*Eryngium planum*	sol	–	–	К	
30	*Agrimonia eupatoria*	–	–	sol	К, М	
31	*Calamagrostis epigeios*	–	–	sol	М	
32	*Polygonum aviculare*	sol	–	–	М	
33	*Fragaria vesca*	sol	–	–	М	
34	*Matricaria recutita*	sol	–	–	М, Г	
35	*Daucus carota*	–	–	sol	К, М	
Промежуточный	*Качество и количество индикаторов*		2			
36	*Inula britannica*	–	sol	–	М	
37	*Medicago lupulina*	sol	–	–	М	
38	*Melandrium album*	–	–	sol	М, Г	
39	*Myosoton aquaticum*	–	sol	–	Г	
40	*Phlomis pungens*	–	un	–	К	
41	*Plantago major*	–	sol	–	М	
42	*Potentilla argentea*	–	sol	–	К, М	
43	*Ranunculus acris*	sol	–	–	М	
Промежуточный	*Качество и кол-во индикаторов*			2		
44	*Ranunculus repens*	–	–	sol	М, Г	
45	*Rumex confertus*	sol	–	–	М	
46	*Rumex crispus*	–	–	sol	М	
47	*Thalictrum minus*	–	–	sol	М	
48	*Trifolium hybridum*	–	–	sol	М, Г	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% КМ	10(33%)	11(35%)	12(36%)	15(31%)	
Промежуточный	Видовое разнообразие,% М	16(53%)	15(48%)	15(46%)	24(50%)	

Продолжение таблицы 13.

№ вида/ качество показателя	Название вида по латыни	Годы наблюдений			Видовое разно-образие	Ре-зуль-тат
		1996	1997	1998		
Промежуточный	Видовое разнообразие,% МГ	4(13%)	5(16%)	6(18%)	9(19%)	
Динамический	**Изменение видового разнообразия**	3	4	4		**4**
Промежуточный	*Число постоянных видов*	*19*	*19*	*19*		
Промежуточный	*Ежегодный список видов*	*30*	*31*	*33*		
Промежуточный	*Постоянные виды ежегодно* (<70%)	*63*	*61*	*58*		*61*
Промежуточный	*Постоянные виды от многолетнего списка* (<50%)					*40*
Динамический	**Флуктуационная изменчивость**					**1**
	СТЕПЕНЬ НАРУШЕННОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ					**3**

2) Вторая графа сверху после шапки (табл. 11-13) отражает наличие и количество на модельном участке видов растений – индикаторов изменения обводненности территории для каждого года исследований, выраженное уже по пятибальной шкале нарушенности экосистем (табл. 7). Усредняем значения до целых чисел. Проставляем в седьмую колонку одно результирующее значение для каждого модельного участка.

3) Третья графа (только для луговых экосистем) сверху после шапки в сводной таблице геоботанических описаний (табл. 13) отражает степень нарушенности экосистем по пятибалльной шкале (по таблице 7) по изменению кормовой ценности лугов (только для травяных экосистем). Усредняем имеющиеся три значения до целых чисел и вставляем в седьмую колонку одно результирующее значение этого стабильного показателя для каждого модельного участка.

4) Поскольку качественное и количественное проявление видов растений – индикаторов изменения обводненности территории дается для каждого вида отдельно, в сводной геоботанической таблице описаний присутствуют одна или более строк над видовым обозначением внутри поля таблицы, в которых проставляются эти значения. Таким образом, общей графы сверху после шапки, которая обозначала бы нарушенность по качественному и количественному проявлению видов растений-индикаторов, нет. Поэтому вставляем дополнительную строку – четвертую сверху от шапки (табл. 11-13), в которую проставляем результирующее значение сперва для трех лет исследований, исходя из осреднения двух или более строк (для каждого зарегистрированного вида-индикатора – свое значение по таблице 7) для каждого из годов исследования. Если вид-индикатор встречен только один, просто переносим значения вверх, в пятую сверху строку для каждого года. Усредняем получившиеся числа за три года исследований и вставляем результирующее значение стабильного показателя качественного и количественного проявления видов растений-индикаторов для каждого модельного участка в седьмую колонку.

5) Как уже отмечалось ранее, при наличии исторических геоботанических сведений о составе сообщества у нас при первичной обработке получились промежуточные данные одного из динамических биологических показателей – изменение видового разнообразия, которые записаны в предпоследней снизу графе для каждого года исследований каждого модельного описания по шкале ступеней нарушенности для экосистем (табл. 7, графа д*). Таким образом, если эти данные имеются, усредняем их до целых чисел и вписываем результирующее значение в седьмую колонку (табл. 11-13).

Если исторических данных о составе сообщества нет, как это обычно бывает, у нас при

первичной обработке данных получилась шестая колонка сводной таблицы и ее три предпоследние графы, в которые вписано по три числа, отражающих экологическую приуроченность видового состава данного модельного участка по трем категориям биотопов (ксерофиты – К, мезофиты – М, гигрофиты – Г) за три года исследований.

Таким образом, в трех предпоследних строках под каждым годом исследований и под шестой колонкой вписано по два значения в каждую графу: одно, без скобок, – это количество видов экологической группы, а цифра в скобках – это процент участия видов группы от ежегодного состава сообщества. В шестой колонке будут представлены цифры для многолетнего состава сообщества: количество видов и их процент от многолетнего состава в скобках (табл. 11, три строки снизу «промежуточный показатель – видовое разнообразие»).

Рассчитываем процент каждой экологической группы растений от ежегодного состава сообщества для каждого года исследований каждого модельного участка. В соответствии с приуроченностью того или иного модельного участка (верхний, средний, нижний уровень поймы, надпойменные террасы или межрусловые понижения и т.д.) и процентом участия видов типичной приуроченности присваиваем каждому участку за каждый год исследования тот или иной балл по степени нарушенности экосистемы из таблицы 7 (по графе д*).

Поскольку у нас в сводной таблице геоботанических описаний не было отдельной графы для промежуточного динамического показателя изменения видового разнообразия (поскольку не было первоначальных исторических данных), вставляем дополнительную, предпоследнюю снизу графу для результирующего значения этого показателя по шкале степеней нарушенности из таблицы 7 (графа д*). Усредняем до целых чисел три значения (для трех лет исследования) и вписываем в седьмую колонку результирующее значение этого динамического показателя.

6) При первичной обработке полевых данных предпоследняя и последняя графы в сводной таблице геоботанических описаний отражали количество постоянных видов в сообществе и количество ежегодного списка сообщества за каждый год исследования для каждого описания.

Теперь нам нужно определить собственно динамический показатель флуктуационной изменчивости сообщества. Он определяется по таблице 7 (графа е) по соотношению двух значений: по присутствию постоянных видов растений от ежегодного списка видов и по присутствию постоянных видов растений от многолетнего (за 2-3 года исследований) списка видов модельного участка.

Первое значение – присутствие постоянных видов растений от ежегодного списка – определяем выраженным в процентах отношением постоянных видов (предпоследняя графа таблицы, где все значения одинаковы для вех трех лет исследований) к общему ежегодному списку видов (последняя графа таблицы, где значения разные для всех трех лет). Поскольку у нас при первичной обработке данных не было специальной графы для этого динамического показателя, вставляем дополнительную графу в самом конце таблицы и проставляем в нее значения для трех лет исследования на каждом модельном участке. Затем усредняем процент до целых значений за все три года исследований и ставим результирующее число в седьмую колонку в последней строке таблицы.

Второе значение – присутствие постоянных видов растений от многолетнего списка – будет единственным для всех трех лет исследований для каждого модельного участка. Оно также вычисляется отношением постоянных видов (предпоследняя графа таблицы, где значение одинаково для всех трех лет исследований) к общему многолетнему списку (который берем из первой колонки сводной таблицы геоботанических описаний, т.е. это все виды модельного участка, зарегистрированные за все годы), выраженным в процентах. Проставляем это единственное значение на следующую строку, теперь последнюю, которая

идет внизу, под первым значением, – присутствием постоянных видов растений от ежегодного списка. Значение проставляем только в седьмую колонку. Колонки 3-5 будут пустыми, поскольку значение это единственное.

Заключительным этапом определения динамического биологического показателя флуктуационной изменчивости сообщества будет сравнение этих двух последних значений и установление степени нарушенности экосистемы по пятибалльной шкале из таблицы 7 (графа е). Полученные окончательные значения степени нарушенности по флуктуационной изменчивости сообщества проставляем в самой последней графе (которую вставляем снова) в седьмой колонке.

Таким образом, в процессе дополнительной статистической обработки данных мы получили показатели степени нарушенности экосистемы в результате изменения обводненности территории по всем четырем стабильным и двум динамическим эколого-биологическим показателям.

Следующим этапом начинается собственно анализ полученного материала. Приоритет в определении степеней нарушенности экосистемы по биологическим показателям отдается двум основным биологическим показателям: *наличию и количеству* видов-растений-индикаторов и их *качественному и количественному проявлению* в составе сообщества. Если видов-индикаторов не найдено, то следующим показателем рассматривается *флуктуационная изменчивость* в сообществе (табл. 12). Так, в приведенной таблице 12 мы видим высокую, 4-ю степень нарушенности березово-елового леса на водораздельной поверхности реки Кильмы (бассейн Верхней Волги), которая была установлена без проявления видов – индикаторов нарушения обводненности территории. В данном случае нарушения такой высокой степени произошли в связи с климатическими изменениями и естественным подтоплением территории в результате увеличения выпадения атмосферных осадков преимущественно в зимне-осенний период. В данном березово-еловом сообществе отмечен только один древесный ярус, флуктуационная изменчивость в нем также практически отсутствует, а экологическая приуроченность видов показывает увеличение в составе сообщества видов иной биотопической приуроченности, в основном мезогигрофитов, таких как калина, мятлик болотный, седмичник и др. На модельной площади с 2009 г. отмечается сухостой и вывал не только елового подроста, но и взрослых деревьев ели и березы. Подрост березы полностью отсутствует, а у ели он абсолютно сухой. Ярусность практически отсутствует, кроме единственного древесного. Единичные виды встречаются очень редко. Повышение обводненности территории доказывает непрерывное повышение УГВ в меженный период с 2011 по 2013 годы на этом модельном участке (в 2011 – 5.2 м, в 2012 – 4.61 м, 2013 – 3.8 м), а также сильное поверхностное оглеение верхних почвенных горизонтов (с глубины 10 см и до глубины 100 см, нарастающее с глубиной до 75%), которое постоянно отмечалось нами в модельном почвенном разрезе за 2009-2014 годы исследования. Таким образом, даже при отсутствии установленных видов – индикаторов изменения обводненности территории, оставшиеся три показателя (для лесов) позволяют распознать эти нарушения.

Вернемся теперь к продолжению расчетов по предлагаемому методу при отсутствии некоторых из шести биологических показателей. Если флуктуационная изменчивость видового состава не отражает изменений, то берется показатель *ухудшения кормовой ценности* (для лугов). Если он не отражает изменений или его просто нет для древесных сообществ, переходим к *видовому разнообразию*, а затем – *к изменению структуры (ярусности)* сообщества. Получается таблица, похожая на таблицу 12, только с единичным баллом в графе «динамический показатель – изменение видового разнообразия».

Таким образом, три показателя (*наличие и количество* видов-растений-индикаторов и их *качественное и количественное проявление* в составе сообщества, а также *изменение*

кормовой ценности лугов) могут не участвовать в расчетах по причине отсутствия видов-индикаторов и/или отсутствия балла кормовой ценности лугов, если у нас лесное сообщество.

Но оставшиеся три показателя (*изменение структуры сообщества* – ярусность, *изменение видового состава* и *флуктуационная изменчивость*) при усреднении дают степень нарушенности сообщества – экосистемы при изменении обводненности территории в результате климатических или антропогенных региональных (зарегулирование) изменений.

В идеале, если удается установить все пять (для леса) или шесть (для луга) биологических показателей, то можно их все усреднить и получить результирующее значение, которое округляют до целых чисел (табл. 13). Это значение и будет показателем степени нарушенности экосистемы при изменении обводненности территории.

Обычно все эти показатели близки по значениям и отличаются друг от друга только на один балл, а зачастую они попросту идентичны, что подтверждает правильность определения степени нарушения экосистемы по каждому из них.

В качестве примера можно привести модельный участок разнотравно бодяково-злакового луга (табл. 13), заложенного в пределах средней-центральной поймы реки Сейм на землях городского луга г. Льгова (Курская область). Участок расположен на границе зоны широколиственных лесов и лесостепи. Как видим, показатель флуктуационной изменчивости видового состава данного участка находится в пределах нормы (1), т.е. соответствует ненарушенным сообществам. Однако все остальные биологические показатели нарушенности экосистемы значительно выше. Они соответствуют 3-ей или 4-ой степени нарушенности экосистем. При этом усреднение всех шести показателей для этого модельного участка дало среднюю степень нарушенности экосистем (табл. 3). Подобные нарушения уже требуют специальных локальных гидро- и лесотехнических мероприятий для восстановления сообщества (табл. 14), в том числе и его кормовой ценности.

При определении показателя нарушенности луговой экосистемы по структурной организации сообщества (по ярусности) применяется правило понижения степени нарушенности экосистемы для степеней нарушенности с равным количеством ярусов, если по остальным биологическим показателям нет единых значений степеней нарушенности экосистемы. Как, например, для городского луга г. Льгов (табл. 13), для которого биологический показатель флуктуационной изменчивости был первой степени, а остальные четыре показателя имели значения – 3-4. Усреднение всех шести показателей дало значение 3, т.е. среднюю степень нарушений. Однако если бы все пять основных биологических показателей оказались равными четырем, то для структурного показателя изменения ярусности нужно было бы выбрать значение четыре, а не три, как в данном случае (табл. 13).

Иногда не удается получить показатель изменения видового разнообразия или отсутствуют сведения о ярусности сообщества и/или проективном покрытии сорнотравья. В этом случае вполне можно обойтись тремя главными биологическими показателями. Если хотя бы три главных биологических показателя (*наличие и количество* растений-индикаторов и их *качественное и количественное проявление* в составе сообщества, а также *флуктуационная изменчивость*) дают одинаковые результаты, это указывает на то, что сообщество (и/или экосистема) относится к выявленной степени нарушения (по табл. 7).

Если эти показатели близки по значениям, но неодинаковы, рассчитывают их среднее, округляя до целых значений. Таким образом, получается балл степени нарушенности экосистемы. Если три главных биологических показателя (*наличие и количество* видов-растений-индикаторов и их *качественное и количественное проявление* в составе сообщества, а также *флуктуационная изменчивость*) очень сильно отличаются друг от друга (на два и более балла), требуется дополнительная эколого-биотопическая оценка списка

видов для уточнения изменения видового разнообразия. После чего применяется усреднение всех четырех показателей до целого значения, которое и будет показывать степень нарушенности экосистемы.

Таблица 14. Степень нарушений в ландшафтах и наземных экосистемах и необходимость восстановительных (рекультивационных) мероприятий на местности в результате зарегулирования и или климатических изменений. **Table 14.** Violations rate of the terrestrial ecosystems and necessity of restoring (recultivating) events in the region with regulation and climatic changes.

Степень нарушений в ландшафтах	**Степень нарушенности наземных экосистем и необходимость восстановительных (рекультивационных) мероприятий**
1 – очень слабая	Естественное или очень слабо измененное состояние экосистем, необходим мониторинг за дальнейшим развитием процессов
2 – слабая	Слабо измененное состояние экосистем, необходимы локальные мероприятия (по осушению и/или обводнению)
3 – средняя	Средне измененное состояние экосистем, требуются локальные гидро- и лесотехнические мероприятия
4 – сильная	Сильно измененное состояние экосистем, наряду с локальными (гидро- и лесотехническими) нужны мероприятия по изменению гидрологического режима реки
5 – очень сильная	Полностью измененное состояние экосистем, требуются мероприятия по изменению гидрологического режима реки

Усреднение значений всех биологических показателей нивелирует возможность ошибки исследователя при определении степени нарушенности экосистемы, особенно часто встречающейся при выявлении видового состава и, соответственно, правильного определения флуктуационной изменчивости и изменения видового разнообразия. Особенно важно это в тех случаях, когда берутся полевые данные разных исследователей.

В идеале все шесть (для луговых) и/или пять (для древесных) биологических показателей должны дополнять друг друга и показывать одинаковые значения. Однако подчас в природе этого не наблюдается по разным причинам (сильное локальное антропогенное воздействие, ошибки исследователя и др.). Поэтому для оценки степени нарушенности экосистем мы применяем усреднение всех (табл. 11) или большинства (табл. 12) используемых полученных биологических показателей.

В заключение, нужно отметить еще раз, что использованный метод оценки нарушений в наземных экосистемах успешно применялся для различных географических зон не только для выявления гидротехнических нарушений, но и для установления нарушений от климатических изменений.

Кроме того, данный метод оценки можно применять и для больших территорий, оценивая степень нарушенности экосистем и целых ландшафтов по количеству нарушенных или ненарушенных экосистем в рамках заложенных модельных профилей (или трансект), в которых анализируется достаточное количество модельных площадок. При этом если более половины всех модельных участков заложенного профиля (трансекты) будет относиться к нарушенным экосистемам, территорию следует относить к измененной и разрабатывать для нее специальные меры реабилитации. Балл нарушения территории в целом рассчитывается

также по среднему баллу от всех нарушенных экосистем на профиле.

Для околоводных наземных экосистем выбор биологических показателей, отражающих их структурно-функциональные изменения, связан с их коренным отличием от зональных экосистем по основному лимитирующему фактору, поскольку для зональных экосистем это – термический режим, а для интразональных (долинных и пойменных, т.е. наземных околоводных) – гидрологический режим территории. Основной лимитирующий фактор определяет чрезвычайную (ускоренную в 2-5 раз и более) динамичность развития околоводных экосистем во времени и пространстве по сравнению с зональными экосистемами, что требует выбора других биологических показателей для оценки состояния экосистем и их структурно-функциональных изменений по сравнению с зональными.

Поскольку околоводные наземные экосистемы постоянно находятся в процессе изменения, каждая из этих экосистем может быть представлена только как некоторая отдельная совокупность, состоящая из набора переменных состояний, сгруппированных в серийные (т.е. последовательно сменяющиеся сукцессионные) и трансформационные (т.е. спонтанно изменяющиеся) ряды. При этом состояние такого сложного динамического образования, как околоводная наземная экосистема, не может быть оценено стандартными неизменными показателями, такими как продуктивность или проективное покрытие. Для оценки изменений околоводных экосистем наряду с некоторыми стабильными показателями необходимо использовать соответствующие динамические показатели, значения которых изменялись бы вместе с соответствующей постоянно меняющейся экосистемой, находящейся в условиях чрезвычайно динамичной среды.

Выводы

В результате исследований было установлено, что нарушение в наземных экосистемах и ландшафтах вследствие изменения водного режима территории возможно определить на основании оценки живых, неживых и условно живых компонентов наземных экосистем. Анализ и оценка изменений климатической и гидрологической компоненты экосистем, включая изменения УГВ (Кузьмина, 2017), позволяет сделать вывод о наличии или отсутствии нарушений водного режима территории не связанных с длительно протекающей естественной динамикой экосистем (с периодом в несколько сот лет и более). Оценка изменений почвенной компоненты позволяет оценить масштабы изменений и общие направления развития процессов на данной территории. Собственно оценку самих изменений, происходящих в экосистемах в связи с нарушением водного режима территорий (после установления наличия этих изменений), следует проводить на втором этапе исследований по совокупному анализу основных биологических показателей, которые были определены и представлены «Методом оценки нарушений в околоводных экосистемах по биологическим показателям при изменении обводненности территории (от естественных климатических и антропогенных гидротехнических воздействий)».

Таким образом, основные биологические показатели для оценки состояния наземных околоводных экосистем были определены и разделены на две совокупности – динамические и стабильные. К динамической группе биологических показателей относятся показатели с постоянно изменяющимися (как минимум ежегодно) значениями: 1) изменение видового разнообразия растительных сообществ, 2) их ежегодная флуктуационная изменчивость. К стабильной совокупности биологических показателей относятся показатели, обычно изменяющиеся во времени не сразу, а за достаточно длительный период (от 10 лет и более) и обладающие более или менее постоянными значениями, изменяющимися не ежегодно. К стабильной группе биологических показателей относятся: 1) изменение структурной организации растительных сообществ (количество и качество ярусов), 2) наличие и

количественная композиция в составе растительных сообществ видов растений – индикаторов изменения водного режима территории, 3) качественное и количественное проявление видов растений – индикаторов изменения водного режима территории, 4) изменение кормовой ценности луговых сообществ (по сорнотравью).

Наличие достоверных нарушений в пойменных экосистемах при зарегулировании или при климатических изменениях можно выявить на основе биологических показателей, относящихся к стабильной совокупности, а именно по установленному списку видов растений – индикаторов изменения водного режима территории в зависимости от гранулометрического состава почвогрунтов, залегания УГВ в межень и изменения характера паводковых затоплений. Основными видами – индикаторами изменения водного режима территории в зоне южной тайги, широколиственных лесов и лесостепи являются одни и те же виды растений с широким евразийским ареалом распространения (табл. 1).

На основе стабильной совокупности биологических показателей, отражающих стуктурно-функциональные особенности экосистем, можно оценить и степень нарушений от воздействия гидротехнических сооружений на пойменных территориях, а также необходимость восстановительных (рекультивационных) мероприятий, которые устанавливаются по проявлению видов растений – индикаторов изменения водного режима территории в экосистемах.

В то же время пороговые (критические) значения нарушений в околоводных наземных экосистемах, после которых в них начинаются необратимые изменения, можно определить только на основании динамической совокупности биологических показателей, отражающих структурно-функциональные особенности экосистем. Экосистемы, в течение длительного времени сильно нарушенные в результате воздействия гидросооружений и зарегулирования стока, отличаются очень слабой флуктуационной изменчивостью и меньшим (в 2-4 раза) видовым разнообразием: доля постоянных видов растений здесь обычно превышает предельно допустимый уровень: 70% от ежегодного и 50% от многолетнего флористического списка; для таких экосистем следует разрабатывать специальные меры реабилитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Груздева Л.П., Суслов С.В., Груздев В.С. 2005. Водоохранные зоны водохранилищ нечерноземья. М.: ГУЗ. 152 с.

Данилов-Данильян В.И., Арский Ю.М., Вяхирев Р.И., Залиханов М.Ч., Кондратьев К.Я., Лосев К.С. 2002. Экологический энциклопедический словарь. М.: Издательский дом «Ноосфера». 930 с.

Костюковский В.И. 1988. Динамика ландшафтов Центрального Казахстана. М.: Наука. 159 с.

Кузьмина Ж.В. 1993. Динамика растительности речных пойм сухих субтропиков Туркменистана и вопросы ее охраны. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Институт экологии и морфологии животных. 24 с.

Кузьмина Ж.В. 1997а. Зависимости показателей структуры растительных сообществ от факторов среды // Экосистемы речных пойм. М.: РАСХН. С. 544-550.

Кузьмина Ж.В. 1997б. Классификация растительности дельты Амударьи // Ботанический журнал. Т. 82. № 1. С. 86-101.

Кузьмина Ж.В. 1997в. Структура и динамика пойменных экосистем сухих субтропиков Западного Туркменистана // Экосистемы речных пойм. М.: РАСХН. С. 328-419.

Кузьмина Ж.В. 2005а. Оценка последствий изменения режима речного стока для пойменных экосистем при создании малых гидротехнических сооружений на равнинных реках // Метеорология и гидрология. № 8. С. 89-103.

Кузьмина Ж.В. 2005б. Последствия изменения режима речного стока для пойменных

экосистем при создании малых (низконапорных) гидротехнических сооружений на равнинных реках // Оценка влияния изменения режима вод суши на наземные экосистемы. М.: Наука. С. 134-163.

Кузьмина Ж.В. 2007а. Анализ изменений многолетних метеорологических характеристик и их воздействие на динамику экосистем // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Науки о Земле. Естественные науки. Спецвыпуск. № 6. С. 73-78.

Кузьмина Ж.В. 2007б. Анализ многолетних метеорологических трендов на Юге России и Украины (от лесостепи до пустынь) // Аридные экосистемы. Т. 13. № 32. С. 53-67.

Кузьмина Ж.В. 2007в. Воздействие низконапорных гидротехнических сооружений на динамику наземных экосистем зоны широколиственных лесов Центральной и Восточной Европы. Автореф. дис. … докт. геогр. наук. М.: ФГБУ ИВП РАН. 44 с.

Кузьмина Ж.В. 2017. Динамические изменения экосистем и вопросы их оценки // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 10-25. [Электронный ресурс http://www.ecosystemsdynamic.ru].

Кузьмина Ж.В., Каримова Т.Ю., Трешкин С.Е., Феодоритов В.М. 2011а. Влияние климатических изменений и зарегулирования речного стока на динамику растительности долин рек // Использование и охрана природных ресурсов в России. Научно-информационный и проблемно-аналитический бюллетень. № 2 (116). С. 34-40.

Кузьмина Ж.В., Каримова Т.Ю., Трешкин С.Е., Феодоритов В.М. 2011б. Воздействие антропогенного регулирования речного стока и климатических изменений на динамику растительности долин рек // Антропогенная динамика растительного и почвенного покровов лесной зоны. Сборник научных трудов кафедры земледелия и растениеводства. М.: Государственный университет по землеусройству. С. 125-147.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2001. Современное состояние флоры и растительности заповедника «Бадай-Тугай» в связи с изменением гидрологического режима // Ботанический журнал. Т. 86. № 1. С. 73-84.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2008. Методика определения и оценки нарушений пойменных экосистем при гидротехническом воздействии // Аридные экосистемы. Т. 14. № 35-36. С. 94-110.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2010. Антропогенное изменение пойменных экосистем и их охрана // Использование и охрана природных ресурсов в России. Научно-информационный и проблемно-аналитический бюллетень. № 5 (113). С. 58-64.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2011. Метод оценки гидротехнического воздействия и климатических изменений на экосистемы // Антропогенная динамика растительного и почвенного покровов лесной зоны. М. С. 148-163.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2012. Оценка последствий гидротехнического воздействия на экосистемы пойменных гидроморфных и полуавтоморфных территорий // Актуальная биогеография. Вопросы географии. Вып. 134. С. 298-313.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2014а. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3(60). С. 14-32.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2014б. Обусловленные режимом водных объектов бюиологические показатели, отражающие структурно-функциональные изменения окловодных наземных экосистем // Изменение состава и структуры ландшафтов в условиях техногенеза. М. С. 87-115.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2016а. Многолетние изменения основных метеорологических характеристик в бассейне Амура // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 2 (146). С. 50-61.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2016б. Климатические изменения в Приаралье и Средней Азии // Аридные экосистемы. Т. 22. № 4(69). С. 5-20.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2017. Оценка изменений наземных экосистем Нижней Волги при зарегулировании // Аридные экосистемы. Т. 23. № 4 (73). С. 24-36.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2013. Воздействие основных тенденций совокупного влияния климатических и гидрологических изменений на сукцессионную динамику растительности в мелиоративно трансформируемых экосистемах зоны южной тайги // Современные проблемы использования мелиоративных земель и повышения их плодородия. Материалы международной научно-практической конференции ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии, Тверь, 27-28 июня 2013 года. С. 253-272.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2015. Критерии климатического и антропогенного заболачивания наземных экосистем в долинах рек // Болота и биосфера. С. 219-224.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Хенрихфрайзе А. 2000. Микроочаговые процессы в связи с локальным изменением обводненности территорий // Микроочаговые процессы-индикаторы дестабилизированной среды. М.: РАСХН. С. 26-34.

Новикова Н.М., Назаренко О.Г. 2013. Природные комплексы побережий искусственных водоемов на юге Европейской части России // Аридные экосистемы. Т. 10. № 3 (56). С. 27-42.

Новикова Н.М., Волкова Н.А., Назаренко О.Г. 2014. Функционирование экотонных систем побережья Цимлянского водохранилища // Аридные экосистемы. Т. 20. № 4 (61). С. 24-35.

Панкова Е.И., Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 1994. Влияние грунтовых вод на состояние почвенного и растительного покрова в оазисах Южной Гоби Монголии и перспективы рационального использования земель // Водные ресурсы. Т. 21. № 3. С. 358-364.

Панкова Е.И., Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 1996. Состояние тугайной растительности в оазисах Южной Монголии и перспективы их восстановления // Аридные экосистемы. Т. 2. № 2-3. С. 131-144.

Сочава В.Б. 1972. Геоботаническое картографирование // Классификация растительности как иерархия динамических систем. Л. С. 3-18.

Сочава В.Б. 1979. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск, Изд-во: Наука. 189 с.

Трешкин С.Е., Кузьмина Ж.В. 1989. Структура древесно-кустарниковых тугаев низовьев Амударьи // Вестник КК ФАН УзССР. Нукус. № 4. С. 35-39.

Трешкин С.Е., Кузьмина Ж.В. 1993. Современное состояние пойменных лесных экосистем рек Амударьи и Сумбара в связи с антропогенным воздействием // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 14-19.

Электронный ресурс http://www.plantarium.ru.

Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie. 3 Aufl., Wien. 865 s.

Drude O. 1913. Die Ökologie der Pflanzen. Braunschweig (Germany): F. Vieweg & Sohn. 308 s.

Kuzmina Zh.V. 2004. The impact of natural and human-induced changes in the river flow and the climate on flood plain ecosystems in the middle Elbe river basin // Ecological Engineering and Environment Protection. № 2. P. 5-15.

Kuzmina Zh.V., Treshkin S.Y., Avetjan S.A., Henrichfreise A. 2005. Assessment of consequences change of river flow regime for floodplain ecosystems under building small and middle hydrotechnical constructions // Journal of Hydrology and Hydromechanics. Vol. 53. № 1. P. 3-16.

Novikova N.M., Kuzmina Zh.V., Dikareva T.V., Trofimova T.U. 2001. Preservation of the tugai biocomplex diversity within the Amu-Darya and Syr-Darya river deltas in aridization conditions // Ecological research and monitoring of the Aral sea deltas. Book 2. UNESCO: Pronting Sagraphic, Barcelona. P. 155-188.

Novikova N.M., Kust G.S., Kuzmina Zh.V., Trofimova G.U., Dikareva T.V., Avetian S.A., Rozov S.U.,

Deruzhinskaya V.O., Safonicheva L.F., Lubeznov U.E. 1998. Contemporary plant and soil cover changes in the Amu-Dar'ya and Syr-Dar'ya river deltas // Ecological Research and Monitoring of the Aral Sea Deltas. UNESCO: Paris. P. 55-80.

Schrautzer J., Wiebe C. 1993. Geobotanische Charakterisierung und Entwicklung des Gruenlandes in Schleswig-Holstein // Phytocoenologia, Berlin-Stuttgart. № 22 (1). S. 105-144.

TECHNIQUE OF AN VALUATION OF VIOLATIONS IN LAND ECOSYSTEMS AND LANDSCAPES OWING TO CLIMATIC AND HYDROLOGICAL CHANGES

© 2017. Zh.V. Kuzmina*, S.E. Treshkin**

**Institute of Water Problems of Russian Academy of Sciences*
Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str., 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru

***Federal Agency for Scientific Organizations*
Russia, 119334, Moscow, Leninsky Avenue, 32a. E-mail: biost@yandex.ru

The article presents the algorithm of ascertaining the violation in the ecosystems and landscapes, which is based on the total assessment of changes of some animate and inanimate ecosystem components. The conclusion of that assessment has become the usage of the “Метода оценки нарушений в околоводных экосистемах по биологическим критериям и показателям при изменении обводненности территорий” (Method of evaluation of the violations in the near-water ecosystems, considering their biological criteria and indices during the changes of the irrigated areas) (Кузьмина, Трешкин, 2012, 2014; Кузмина и др., 2013). To perform the “Method of evaluation …” the requirements for selection and model plots laying, researches, field works materials obtaining and processing are described. Also, the work with the method is described, and the practical examples of its applying in the different areas are presented.

Keywords: groundwater level, soils ironing, soils gleaming, flood-lands ecosystems, vegetation dynamics, fluctuations variability, indicator species of the water regime violations, changes of the grasslands fodder value, biodiversity of the associations.