

## ДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАЛЕЖЕЙ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ ПО НАЗЕМНЫМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

© 2019 г. И.Ю. Ботвич, Т.М. Зоркина\*

Институт биофизики СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»,  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/50

E-mail: irina.pugacheva@mail.ru

\*Гербарий им. Л.М. Черепнина Красноярского государственного педагогического университета  
им. В.П. Астафьева, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89

E-mail: tm\_zorkina@mail.ru

Поступила в редакцию 06.09.18 г.

После доработки 06.09.18 г.

Принята к публикации 13.12.18 г.

Определены динамика и особенности восстановления разнотравно-злаково-полынного и полынно-злакового фитоценозов на залежных землях Алтайского района Республики Хакасия по наземным и спутниковым данным. Выявлен видовой состав, структура и фитомасса данных фитоценозов. Установлено постепенное формирование структурных элементов степных сообществ на исследуемых залежах. Проведенная работа показала целесообразность использования временных рядов спутниковых значений индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), полученных с помощью спектрорадиометра Modis, при изучении особенностей восстановления залежей. Биологические особенности, проективное покрытие, фитомасса в целом определяют величину NDVI. Межгоддовая изменчивость NDVI отражает степень и время восстановления залежей. С определенного момента происходит увеличение параметров, близких к степи (контрольному варианту). Установлено, что на значения NDVI оказывают влияние не только абиотические факторы (климат, почвы), но и биотические (выпас, рекреационная нагрузка). В связи с этим продолжительность стадий восстановления не всегда соответствует литературным утверждениям. В разных условиях они проходят по-разному. Проведена статистическая обработка климатических данных по метеостанции «Абакан» (индекс 29862 в сети Всемирной метеорологической организации) за период с 2000 по 2017 гг. Рассчитаны «средние многолетние нормы» температур и сумм осадков (год, месяц) базового периода Всемирной метеорологической организации 1961–1990 гг. Проведен анализ динамики значений температуры и количества осадков по многолетним рядам.

*Ключевые слова:* спутниковые и наземные методы исследований, залежи, восстановление естественной растительности, NDVI, многолетняя изменчивость (структура, проективное покрытие, фитомасса), Modis.

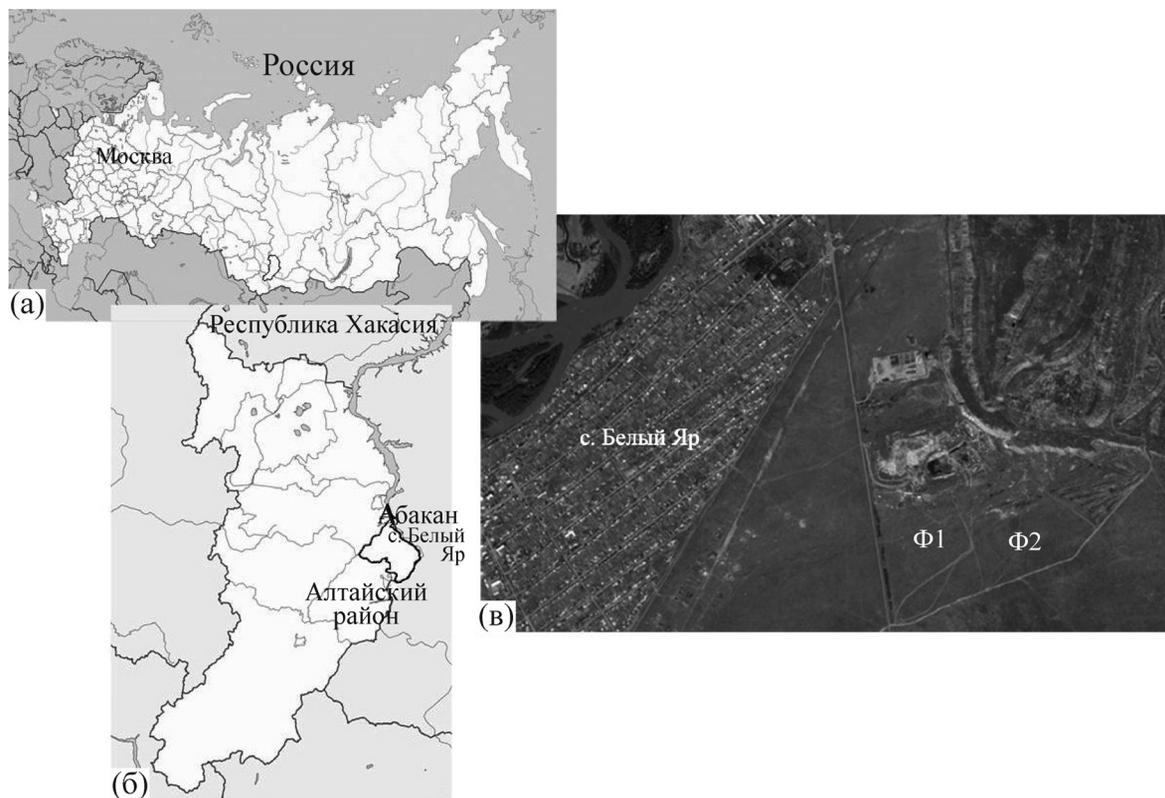
**DOI:** 10.1134/S0006302919020200

В связи с выведением из сельскохозяйственного оборота огромных площадей земель, проблема восстановления степей после распашки постоянно привлекает к себе внимание исследователей и становится особенно актуальной в наше время [1].

На территории Российской Федерации площади сельскохозяйственных угодий уменьшились (по сравнению с 1998 г.) на 4,6% и составили 9625,344 тыс. га, соответственно в Рес-

публике Хакасия она уменьшилась на 1,6%, или 26,988 тыс. га. При этом площадь посевных территорий в Российской Федерации уменьшилась к 2016 г. на 59,5% по сравнению с 1990 г. (37008,3 тыс. га), а в Хакасии – на 32% (357,09 тыс. га) (по данным ЕМИСС (<https://fedstat.ru/>)). Уменьшение площадей посевных территорий Хакасии проходило ежегодно на 6 тыс. га, вплоть до 2005 г. В результате этого в настоящее время на территории Алтайского района республики имеются многочисленные площади, исключенные из хозяйственной деятельности, т.е. залежи.

Сокращения: NDVI – Normalized Difference Vegetation Index, ПП – проективное покрытие.



**Рис. 1.** Расположение исследуемых фитоценозов Ф1 и Ф2 на территории Алтайского района Хакасии: (а), (б) – карты территорий РФ и Республики Хакасия (границы Алтайского района выделены черным контуром); (в) – спутниковое изображение окрестностей с. Белый Яр.

На землях, ушедших в залежь, развивается специфичная, свойственная только им залежная растительность, формирующаяся за счет группы сорных растений, зачатки которых находились в почве в период возделывания полевых культур, и адвентивной флоры окружающих залежь естественных угодий с их спецификой видового состава, зависящего от почвенных разностей, рельефа, уровня увлажнения территорий [2]. Оставление необрабатываемой пашни в течение даже одного года приводит к зарастанию ее сорной растительностью, а при более длительном сроке – к опасности потери ее как сельскохозяйственного угодья. Поэтому проведение земельного учета, изучение растительности, ее продуктивности и восстановления с целью их рационального использования является на современном этапе одной из главных задач [3].

В настоящее время наряду с традиционными методами сбора информации о состоянии залежных земель все чаще стали использовать данные спутниковой съемки [4]. Современный уровень развития позволяет получать информацию о состоянии объекта оперативно и с большой точностью определять качественные и количественные характеристики объектов [5].

Цель исследования – выявление видового состава, структуры и динамики восстановления растительности залежей Алтайского района Хакасии по спутниковым и наземным данным.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является растительность залежных земель Алтайского района Республики Хакасия. Исследование основывается на анализе временных рядов данных полевых геоботанических исследований, спутниковой и метеорологической информации. Для изучения особенностей восстановления естественной растительности в Алтайском районе республики Хакасия было выделено несколько тестовых участков. В 2003 г. эти залежные земли находились в непрерывном процессе восстановления и были определены как: разнотравно-злаково-полынный фитоценоз (Ф1) и полынно-злаковый фитоценоз (Ф2) – рыхлодерновинная стадия восстановления (рис. 1). В качестве контрольных участков с типичной для данного района растительностью (естественной степи) выбраны два фитоценоза: разнотравно-полынно-злаково-ковыльный (Ф<sub>к1</sub>) и полынно-злаково-ковыльный (Ф<sub>к2</sub>), расположенные в восьми–девяи ки-

лометрах южнее фитоценозов Ф1 и Ф2. Исследуемые тестовые участки Ф1 и Ф<sub>к1</sub> располагаются на черноземах южных супесчаных, Ф2 и Ф<sub>к2</sub> – на черноземах южных легкосуглинистых.

Полевые геоботанические описания проведены в 2003–2007 гг. сотрудниками ХГУ Т.М. Зоркиной, Н.А. Меркуловой и М.Н. Егуновой и в 2016–2017 гг. – И.Ю. Ботвич и Т.М. Зоркиной. Проведено геоботаническое обследование полностью на всей территории АО «Алтайское» Алтайского района Хакасия. Выполнено описание растительности, выявлен флористический состав, были учтены структура травостоя, проективное покрытие, жизненность растений, ярусность. После описания растительности учитывали зеленую и сухую фитомассу укосным методом в четырехкратной повторности. При названии фитоценоза и ассоциации доминирующий вид ставили на последнее место. Кроме этого, дополнительно растительность на залежах изучали методом закладки стационарных участков площадью 400 м<sup>2</sup> (20 × 20 м). По стационарным участкам прослеживали также динамику восстановления растительных группировок с составлением картосхем [6,7].

Анализ динамики значений температуры и количества осадков за период с 2000 по 2017 гг., расчет «средних многолетних норм» температур и сумм осадков (год, месяц) базового периода Всемирной метеорологической организации (1961–1990 гг.) проводили по данным АИСОРИ ([www.meteo.ru/pogoda](http://www.meteo.ru/pogoda)).

Изучение растительности залежных земель проводили по данным прибора Modis спутников Terra и Aqua, с пространственным разрешением 250 м (продукты MOD09Q1, MYD09Q1). Временной ряд исследований составляет 15 лет (с 2003 по 2017 гг.). Исследование основывается на комплексном анализе спутниковой информации, измеренной в красном (620–670 нм) и ближнем инфракрасном (841–876 нм) диапазонах и представленной как Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Индекс NDVI является широко распространенным, он активно используется при решении задач мониторинга и картографирования растительности, включая земли сельскохозяйственного назначения [8] и степные массивы.

В ходе тематической обработки спутниковой информации проводили расчет средних значений (NDVI) за восьмисуточный период по данным приборов Modis/Terra и Modis/Aqua. Расчет NDVI базируется на данных в красном и ближнем инфракрасном диапазонах оптического спектра [9,10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемые залежи Ф1 и Ф2 имеют одинаковый возраст – 11 лет в 2003 г. Особенностью развития является восстановление растительности залежи Ф2 в условиях почти заповедного режима, тогда как залежь Ф1 развивается в условиях периодического выпаса скота, в связи с близостью к с. Белый Яр.

В 2003 г. на залежи Ф1 (разнотравно-злаково-полынный фитоценоз) с общим проективным покрытием (ПП) 62,5% и видовой насыщенностью 31 вид доминирует полынь холодная (*Artemisia frigida*), занимающая до 30% ПП (рис. 2а). Субдоминантами являются корневищные (*L. ramosus*, *Leymus racemosus*) и рыхлодерновинные злаки (*Poa stepposa*, *P. attenuata*) – 8,5% ПП. Но еще достаточное ПП (15–17%) занимают однолетние сорные виды – *Artemisia absinthium*, *A. jacutica*, *A. scoparia*, *A. sieversiana*, *Lepidium ruderales*, *Chamaerodos erecta*, *Lappula echinata* и др. Доля бобовых незначительна, в дальнейшем они выпадают из травостоя, но уже в 2016 г. некоторые вновь встречаются единично. Отдельными пятнами, особенно вблизи дорог, встречаются *Carex duriuscula* и *Potentilla acaulis*, что говорит о среднем и сильном выпасе скота на этой территории. К 2016 г. доля злаков увеличивается до 25%, причем преобладают мелко-дерновинные степные злаки (*Festuca valesiaca* – 10% ПП, *Festuca ovina* – 5% ПП, *Cleistogenes squarrosa* – 6% ПП). Однако ковыли встречаются единично. Следовательно, процесс зацеления задерживается.

Участок Ф2 – полынно-злаковый фитоценоз с четырехъярусной структурой характеризуется относительной стабильностью в видовом отношении (18–23 вида) и проективном покрытии (67–80,5%) в течение 2003–2017 гг. (рис. 2б). Доминантными продолжают оставаться злаки с преобладанием к 2016 г. таких, как валлисская и овечья овсяница, тонконог гребенчатый. Наблюдается увеличение доли плотнотравнодерновинного злака *Stipa capillata*, встречавшегося ранее единично. Он разрастается пятнами и занимает до 20% тестового участка. К 2016 г. прослеживается снижение ПП полыней (*Artemisia frigida*) от 28 до 25% и до 14% к 2017 г. В пределах 2–3% во всех годах присутствуют бобовые. Количество сорного разнотравья уменьшается значительно. Следовательно, на этом этапе мы наблюдаем процесс разрастания ковылей. Это означает, что предположительно через четыре–пять лет залежь перейдет на последнюю стадию развития.

Характерными отличиями залежей являются преобладание полыней и почти полное отсутствие бобовых на участке Ф1, тогда как на участке Ф2 преобладают злаки и присутствуют

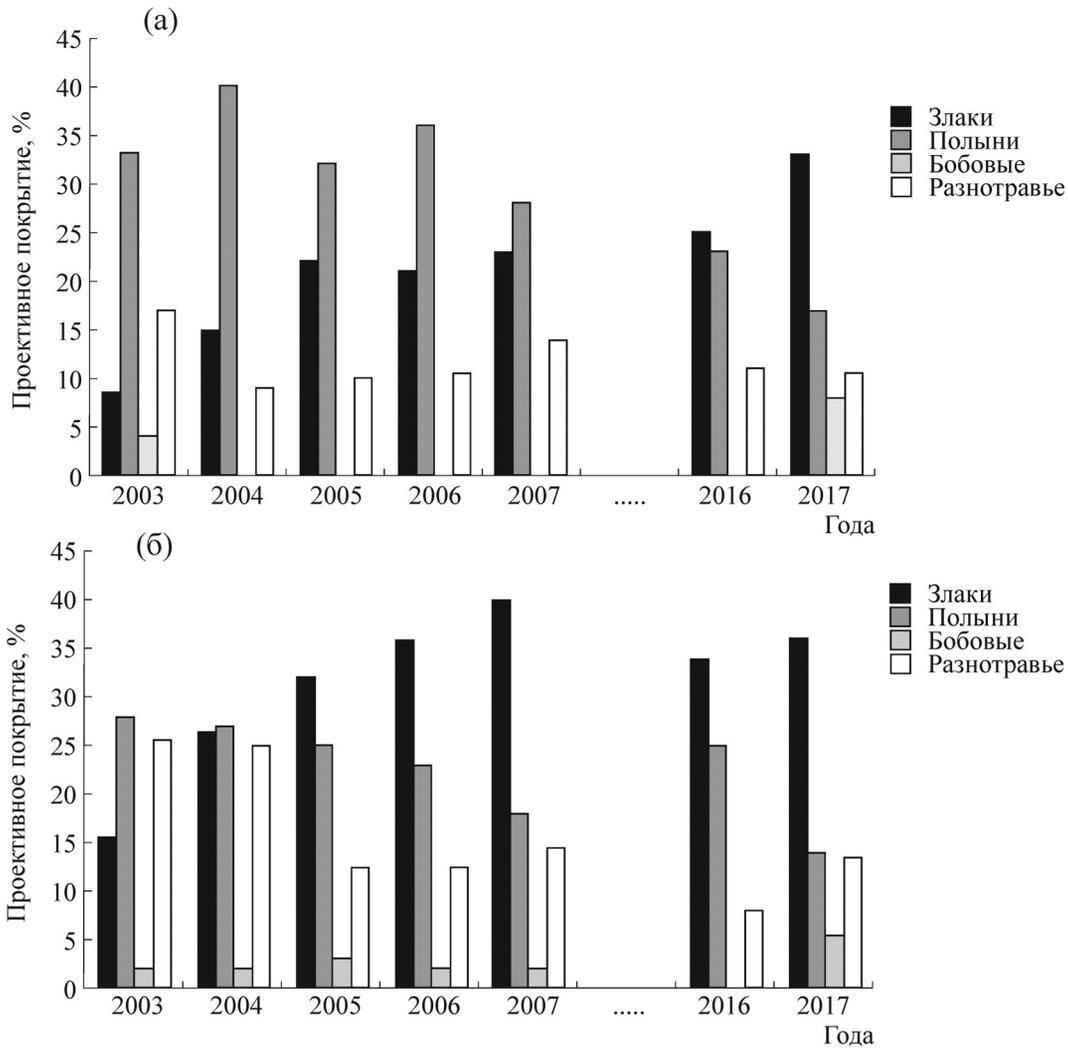


Рис. 2. Изменение проективного покрытия растительности залежей Ф1 (а) и Ф2 (б) в течение периода с 2003 по 2017 гг.

бобовые. Согласно данным геоботанических исследований фитоценоз участка Ф2 имеет более высокое общее проективное покрытие в годы исследования, что подтверждается данными дистанционного зондирования. Значения NDVI залежи Ф2 в целом выше значений NDVI залежи Ф1 (рис. 3б).

Сопоставление временных рядов NDVI залежей на участках Ф1 и Ф2 показало синхронность изменений индекса исследуемых залежей, обусловленную единством климатических условий. Анализ спутниковых данных NDVI с показателями среднесуточной температуры воздуха и количества выпавших осадков позволил объяснить причины резкого увеличения или снижения значений NDVI.

В целом, рассматривая многолетние изменения значений NDVI, мы видим, что преобладает тенденция падения величины индекса

NDVI растительности исследуемых залежей до 2008 г., что подтверждается данными о снижении фитомассы и проективного покрытия (рис. 3б). Далее значения NDVI изменяются от 0,37 до 0,44 вплоть до 2015 г. Увеличение значений до 0,48 определено переходом фитоценозов в плотнодерновинную стадию восстановления, характеризующуюся наличием соответствующих злаков. Снижение значений в 2010, 2012, 2013 и 2015 гг. обусловлено значительным дефицитом осадков и превышением температурных норм в определенные периоды. Так, в 2015 г. наблюдался дефицит осадков в мае (на 51%), июне (на 21%), и превышение температурных норм на 19 и 15% соответственно, что и определило низкие значения NDVI и объема фитомассы в эти месяцы. И лишь к концу июля значения NDVI участков Ф1 и Ф2 увеличиваются до 0,49. В более благоприятные годы,

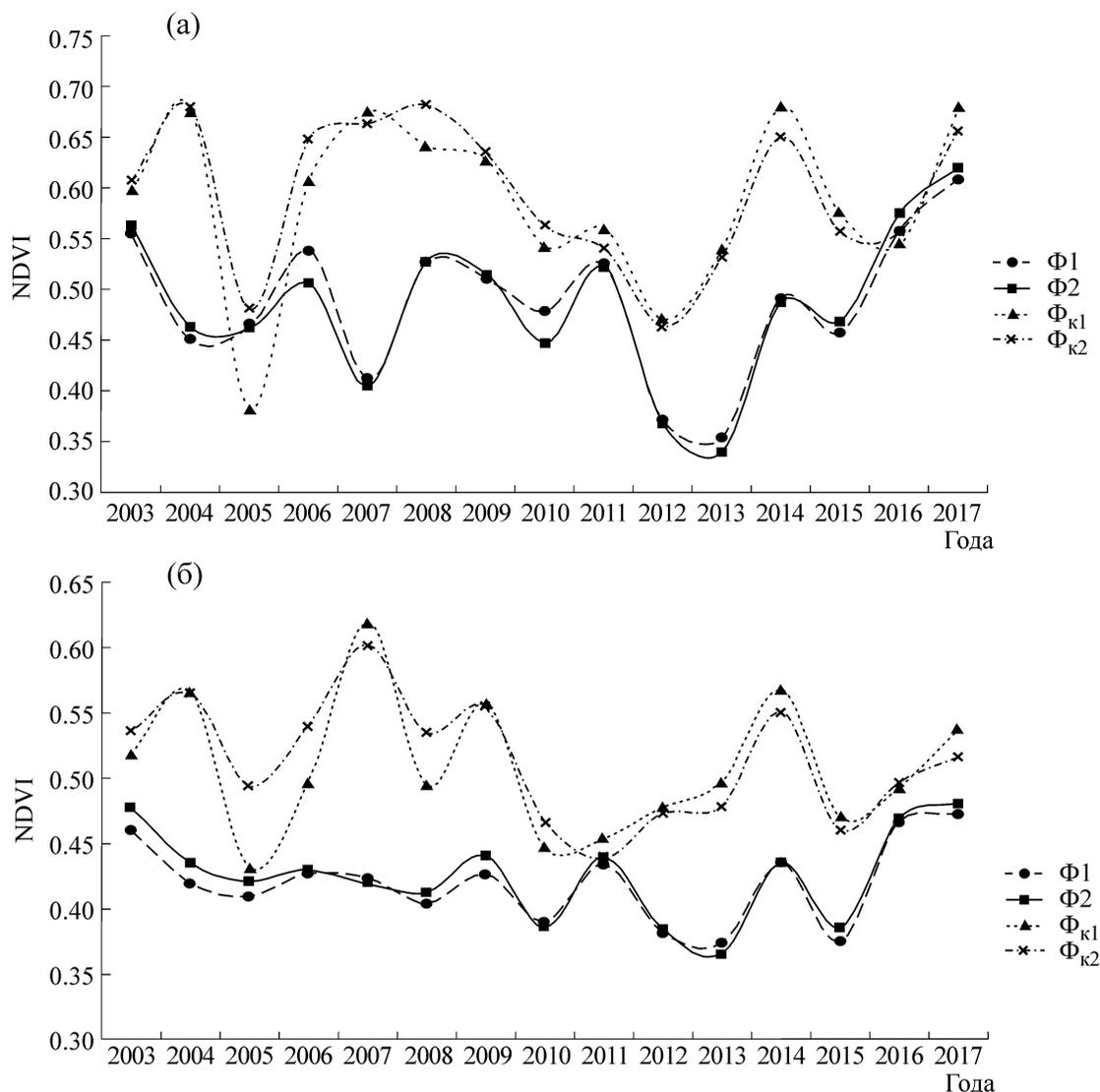


Рис. 3. Межгодовая динамика средних значений NDVI растительности залежей (Ф1, Ф2) и контрольных степных участков (Фк1, Фк2). Период усреднения: (а) – конец июля и начало августа, (б) – май–сентябрь.

например в 2011 г., примерно такие значения достигались к первым числам июня.

NDVI контрольных степных участков  $\Phi_{к1}$  и  $\Phi_{к2}$  в целом имеют более высокие значения, чем участков Ф1 и Ф2 (рис. 3). Анализ внутригодовых изменений NDVI показал, что признаки сенокоса в исследуемые годы не присутствуют. Изменчивость NDVI в течение периодов вегетации в 2003–2017 гг. соответствует варьированию метеорологических условий. Выпас скота на данных территориях не производится в связи с их удаленностью от населенных пунктов. В целом преобладает отрицательный тренд значений NDVI (с периодом усреднения май–сентябрь), что обусловлено биологическими особенностями растительного покрова и сложившимися метеорологическими условиями.

В 2003 г. средняя сырая фитомасса участков Ф1 (37,8 ц/га) и Ф2 (40 ц/га) не превышала фитомассу на контрольном участке  $\Phi_{к2}$  (45,4 ц/га), тогда как первый контрольный участок  $\Phi_{к1}$  (36,5 ц/га) был ниже (рис. 4). 2003 и 2004 гг. характеризовались как влажные и теплые, в связи с этим и фитомасса фитоценозов была достаточно высокой. Во все последующие годы фитомасса участков Ф1 и Ф2 была ниже этого уровня и к 2017 г. составила 16,9 и 17,4 ц/га соответственно. Исключением является 2006 г., который характеризуется поздней весной и влажным июлем (количество выпавших осадков превысило нормальные значения на 63%). По данным геоботанических исследований известно, что средняя фитомасса участков  $\Phi_{к1}$  и  $\Phi_{к2}$  в течение 2001–2003 гг. составила

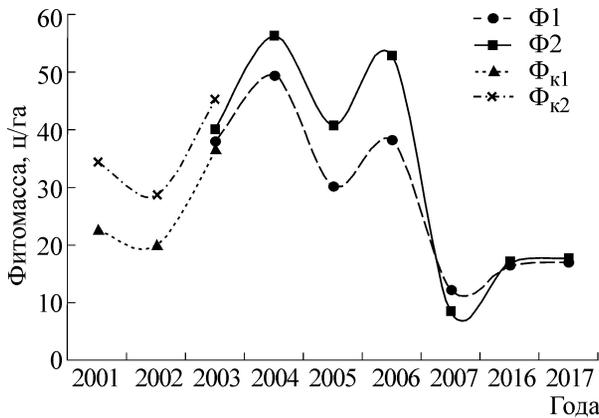


Рис. 4. Фитомасса залежей (Ф1, Ф2) и контрольных участков (Фк1, Фк2) в 2001–2017 гг.

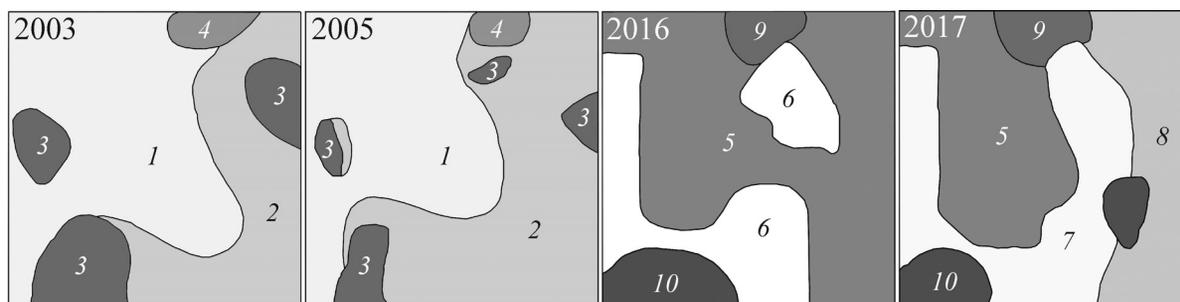
26,3 и 36,1 ц/га, при этом наименьшие значения составляли 19,9 и 28,6 ц/га в 2002 г. Значения NDVI участков Ф1 и Ф2 в 2016–2017 гг. значительно увеличились и по своим показателям приближаются к NDVI участков Фк1 и Фк2. Таким образом, полученные результаты подтверждают близость окончания восстановления фитоценозов и формирование вторичной степи.

В ходе геоботанических исследований в 2003, 2005, 2016 и 2017 гг. были составлены картосхемы стационарных участков Ф1 и Ф2 (рис. 5 и 6). В 2003 г. на участке Ф1 преобладают разнотравно-полынная и разнотравно-злаково-полынная группировки, где отсутствуют плотнoderновинные злаки. Присутствуют колосняково-полынные группировки, где злаки имеют корневищный тип укоренения. Наблюдается уменьшение видового разнообразия с 31 вида в 2003 г. до 17 видов в 2007 г. В дальнейшем количество видов увеличивается до 20 в 2016 г. и до 25 – в 2017 г. Проективное покрытие по годам варьирует незначительно, составляя 60–69% за счет выпадения одних видов и появления других. В 2005 г. отмечается начало разрастания злаковой основы (разнотравно-мятликово-полынной группировки). Разрастание происходит за счет уменьшения разнотравно-полынной группировки, близкой к бурьянистой стадии. Группировка корневищной стадии (разнотравно-колосняково-полынная) незначительно уменьшается. Идет процесс увеличения степной злаковой основы. Но происходит это очень медленно, за счет постоянного выпаса скота. В 2016 и 2017 гг. (через 11–12 лет) эта злаковая основа преобладает (65,4%), происходит постепенное восстановление степной растительности. Появляются степные группировки (полынно-овсяницево-ковыльные), занимающие 8% от общей площади. Такое длительное восстановление залежи обеспечивают климатические факторы

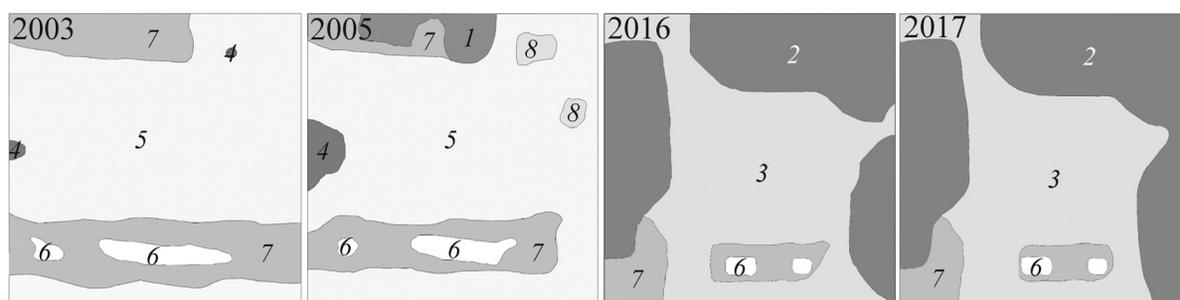
и особенно – биотические (постоянный выпас скота). Выпас скота сдерживает восстановление естественной растительности.

В 2003 г. на участке Ф2 преобладает разнотравно-полынно-мятликовая группировка – 69,3 %, в 2005 г. – 71,9% с присутствием корневищных злаков (колосняк ветвистый). Кроме этого, значительную долю занимает разнотравно-полынно-колосняковая группировка – 26,9%. В разнотравье встречаются виды из бурьянистой стадии развития. Степная (полынно-ковыльно-мятликовая группировка) занимает очень малую долю (0,4%). В 2005 г. она увеличивается до 2,3%, что говорит о медленном процессе восстановления. Разнотравно-полынно-колосняковые группировки уменьшаются на 10,6% за счет появления колосняково-полынной группировки. Появляются пятна группировки полынно-ковыльно-мятликовой с разнотравьем, что говорит о восстановительном процессе залежи. В вертикальной структуре отмечается увеличение доли проективного покрытия первого яруса за счет разрастания мятлика степного *Poa stepposa* и *Stipa capillata* (ковыля). Возраст залежи – 13 лет. Она восстанавливается в условиях почти заповедного режима (очень незначительный несистематический выпас). В 2005 г. появляются отдельные пятна с плотнoderновинными злаками. Наблюдается процесс начала разрастания ковылей. Предполагалось, что в 2009–2010 гг. залежь перейдет в плотнoderновинную стадию, но на самом деле она перешла на эту стадию в 2016–2017 гг. и при этом полностью не восстановилась за такое время. В 2016 г. превалирует типичная степь – полынно-овсяницево-ковыльная группировка, занимающая 46,4%, и второе место занимает разнотравно-полынно-злаковая группировка – 45,7%, где присутствуют злаки овсяница, ковыли, змеевка. Восстановились бобовые (*Melilotus officinalis*, *Melilotus albus*, *Medicago falcate* и др.). Восстанавливается вторичная степь, поскольку разнотравно-полынно-злаковая и полынно-овсяницево-ковыльная группировки занимают 92,1%.

В залежи Ф2 динамика восстановления идет значительно быстрее, чем в залежи Ф1, так как 72% в 2005 г. занимает разнотравно-полынно-мятликовая группировка, соответствующая рыхлодерновинной стадии восстановления. А группировки корневищной и полынной стадий уменьшаются (колосняково-полынная и разнотравно-полынно-колосняковая) по сравнению с первым фитоценозом от 57,3 до 21,1% (в Ф2) в 2005 г. Их место занимают полынно-ковыльно-мятликовые группировки (4,3%), которые относятся к рыхлодерновинной стадии восстановления. В 2016 и 2017 гг. значительно уменьшается полынно-злаковая группировка (26,2%), их



**Рис. 5.** Картограммы стационарного участка Ф1 в 2003, 2005, 2016 и 2017 гг.: представлены ассоциации разнотравно-полынная (1), разнотравно-злаково-полынная (2), разнотравно-колосняково-полынная (3), тимьяново-колосняковая (4), овсяничево-холоднополынная (5), разнотравно-холоднополынно-мелкодерновинно-злаковая (6), разнотравно-полынно-злаковая с бобовыми (7), разнотравно-бобово-полынно-злаковая (8), тимьяновая с колосняком (9), полынно-овсяничево-ковыльная (10). Масштаб 1 : 2000; ориентация: вверх – север, низ – юг.



**Рис. 6.** Картограммы стационарного участка Ф2 в 2003, 2005, 2016 и 2017 гг.: представлены ассоциации колосняково-полынная (1), полынно-овсяничево-ковыльная (2), разнотравно-полынно-злаковая (3), полынно-ковыльно-мятликовая (4), разнотравно-полынно-мятликовая (5), разнотравно-полынно-осочковая (6), разнотравно-полынно-колосняковая (7), полынно-ковыльно-мятликовая с разнотравьем (8). Масштаб 1 : 2000; ориентация: вверх – север, низ – юг.

место занимают почти типичные полынно-овсяничево-ковыльные степи (46,4%). Однако с южной стороны отмечаются с малой площадью группировки, характеризующие почти полное отсутствие выпаса.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Структура фитоценозов четырехъярусная, видовой состав в залежи Ф1 – разнотравно-злаково-полынном фитоценозе – более разнообразен за счет достаточного присутствия сорных видов, что связано с выпасом скота. Однако проективное покрытие залежи Ф1 ниже, чем залежи Ф2 – полынно-злакового фитоценоза. Характерными отличиями залежей являются преобладание полыней и почти полное отсутствие бобовых в залежи Ф1.

2. Определены динамика и особенности восстановления разнотравно-злаково-полынного и полынно-злакового фитоценозов Алтайского района Хакасии по спутниковым и наземным

данным. Установлено постепенное формирование структурных элементов степных сообществ на исследуемых залежах.

Динамика восстановления залежи Ф1, подверженной выпасу, проходит следующие стадии: разнотравно-полынная стадия 42,7% и разнотравно-мятликово-холоднополынная стадия – 47,5% (в 2003–2005 гг.); в 2016–2017 гг. через полынные стадии переходит в разнотравно-бобово-полынно-злаковую (57,4%) и полынно-овсяничево-ковыльную (8%). В условиях выпаса формирование дерновинно-злаковой основы в фитоценозах происходит медленно.

Восстановление растительности без выпаса в залежи Ф2 происходит в среднем на четыре–пять лет быстрее по сравнению с залежью Ф1, так как рыхлодерновинная стадия (разнотравно-полынно-мятликовая) в 2005 г. занимала площадь 71,9% против 47,5%. В 2017 г. 92,1% составляли типичные степные растительные группировки (полынно-овсяничево-ковыльная, разнотравно-полынно-злаковая), что обусловлено различиями почвенного покрова и отсутствием антропогенной нагрузки.

3. Проведенная работа показала целесообразность использования временных рядов NDVI при изучении особенностей восстановления залежей. Биологические особенности, проективное покрытие, фитомасса в целом определяют величину NDVI. Межгодовая изменчивость NDVI отражает степень и время восстановления залежей. С определенного момента происходит увеличение параметров, близких к степи (контрольному варианту).

4. На значения NDVI оказывают влияние не только абиотические факторы (климат, почвы), но и биотические (выпас, рекреационная нагрузка). В связи с этим продолжительность стадий восстановления не всегда соответствует литературным утверждениям.

Авторы выражают благодарность А.И. Волковой за оказанную помощь по проведению геоботанических описаний в полевых условиях в 2016 и 2017 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л. А. Новикова и М. О. Полозова, Вестн. ОГУ 6, 286 (2009).
2. В. Ф. Абаимов, Н. В. Ледовский и И. Н. Ходячих, Изв. Оренбургского ГАУ 4 (42), 227 (2013).
3. Н. А. Меркулова и Т. М. Зоркина, в сб. *Труды IV Российско-Монгольской научной конференции молодых ученых и студентов* (РИО БПГУ им. В. М. Шукшина, Бийск, 2005), с. 371.
4. В. П. Самсонова, М. И. Кондрашкина, Д. Г. Кротов и О. А. Чичиева, Проблемы агрохимии и экологии 1, 53 (2015).
5. С. В. Ломакин и С. А. Макаренко, Вестн. Орловского ГАУ 5 (32) 27 (2011).
6. Е. И. Гайдамака, Н. Я. Деркаева, А. М. Черкесов и др., *Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического исследования природных кормовых угодий и составлению крупно-масштабных геоботанических карт* (Колос, М., 1984), с. 105.
7. Т. М. Зоркина, *Фитоценология: учебно-метод. пособие* (Изд-во Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова, Абакан, 2003).
8. D. K. Bolton and M. A. Friedl, *Agricultural and Forest Meteorology* 173, 74 (2013).
9. D. W. Deering, Ph. D. Dissertation (College Station, Texas A & M University, 1978).
10. C. J. Tucker, *Remote Sensing of Environment* 8, 127 (1979).

## Dynamics of Vegetation Restoration in the Steppe Zone of the Khakassia Republic Based on Surface and Satellite Data

I.Yu. Botvich\* and T.M. Zorkina\*\*

\*Biophysics Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – Division of Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,  
Akademgorodok 50/50, Krasnoyarsk, 660036 Russia

\*\*Cherepnin Herbarium of Astafyev Krasnoyarsk State Pedagogical University,  
ul. Ady Lebedevoy 89, Krasnoyarsk, 660049 Russia

The dynamics and peculiarities of the restoration of motley grass--wormwood and wormwood-gramineous phytocoenoses on fallow lands in the Altai region, the Republic of Khakassia, were determined based on surface and satellite data. The species composition, structure and phytomass of phytocoenoses were also revealed. The gradual formation of structural elements of steppe communities on the investigated deposits was established. In this work it has been shown expedient to use time series of MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) satellite data for the study of the features of the recovery of fallows. Biological features, projective coverage, phytomass generally determine the magnitude of NDVI. Interannual variability of NDVI reflects the degree and time of restoration of deposits. From a certain point, there is an increase in parameters close to the steppe (control option). It is established that not only abiotic factors (climate, soils), but also biotic factors (grazing, recreational load) affect the NDVI values. In this regard, the length of the restoration process is not always consistent with what is given in literature. Different conditions require a different process. Processing of climate data from “Abakan” weather station (index 29862 in the network of the World Meteorological Organization) was performed using statistical methods of analysis during the 2000–2017 time period. The “average multi-year rates” of temperatures and precipitation amounts (year, month) of the World Meteorological Organization base period of 1961–1990 were calculated. The analysis of the dynamics of the temperature and precipitation values over long-term series is carried out.

*Keywords: satellite and terrestrial research methods, deposits, restoration of natural vegetation, NDVI, multi-year variability (structure, projective cover, phytomass), MODIS*