

УДК 528.91

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА  
ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ В БАССЕЙНЕ  
ОЗ. БАЙКАЛ НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ  
КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

© 2011 г. А.Н. Бешенцев

*Учреждение Российской академии наук Байкальский институт природопользования СО РАН  
Россия, 670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. E-mail: abesh@binm.bscnet.ru*

Поступила 10.02.2011

Представлены результаты ретроспективного использования карт при исследовании природопользования и динамики географической среды в центральной части бассейна оз. Байкал в XX в. Определены пространственно-временные параметры динамики лесного покрова и распаханности территории в XX в., выполнена метрическая оценка трансформации природных ландшафтов и выявлены ареалы их деградации.

*Ключевые слова:* ретроспективные карты, динамика географической среды, природопользование, трансформация ландшафтов, ГИС-мониторинг.

**Введение**

Современный период развития общества характеризуется непрерывным преобразованием природных ландшафтов и усиливающимся антропогенным прессом на географическую среду. Возросшие объемы использования природных ресурсов, расширение старых и создание новых природно-антропогенных систем в некоторых случаях привели к изменению хода природных процессов, появлению трансформированных и полностью преобразованных ландшафтов, возникли проблемные территории и ареалы экологического риска. В Байкальском регионе основные проблемы негативных последствий природопользования обусловлены преобладанием почв легкого механического состава и условиями семиаридного климата, что способствует активизации эрозионных процессов и снижению биоразнообразия интенсивно используемых территорий.

Индикатором хозяйственной деятельности является динамика географических объектов и процессов, которая фиксируется разновременными картографическими и аэрокосмическими материалами в виде изменения планово-высотных и субстанциональных характеристик используемой территории. Мониторинг и исследование этих изменений имеют большое практическое значение, так как позволяют определить уровень антропогенного воздействия на природную среду, выявить негативные и позитивные стороны природопользования, сформулировать рекомендации по оптимизации для органов управления. Применение геоинформационной технологии для исследования динамики географической среды позволяет автоматизировать процесс использования разновременных пространственных материалов, повышает точность и оперативность изысканий, снижает уровень субъективизма, обеспечивает возможность манипулирования значительными объемами геоданных. Разработка методологических основ геоинформационного мониторинга динамики долговременных природных и социально-экономических процессов является важным исследовательским направлением. Создание на основе геоинформационной технологии надежного методического аппарата позволяет хранить значительные массивы

разновременных пространственных данных, анализировать их и получать новую информацию об изменениях природных ландшафтов. Отвечать на запросы пользователя и оперативно выдавать информацию в любой форме является актуальной задачей.

### Материалы и методы

В настоящее время во всех сферах территориальной деятельности накоплены значительные массивы географических документов, из которых наиболее актуальны и востребованы источники, отображающие пространственные параметры земной поверхности (карты, планы, чертежи, космоснимки и т.п.). Основу пространственных данных составляют тематические и топографические карты разных лет издания, представляющие собой разновременные модели физико-географического и социально-экономического состояния территории и служащие исходной информацией для метрической оценки динамики географической среды. Таким образом, разновременные топографические карты Корпуса военных топографов, ГУГиК, Генерального штаба СССР и Роскартографии являются информационной основой геоинформационного мониторинга динамики природопользования. Они создаются уже около двухсот лет в единых картографических проекциях и системах координат, характеризуются единством картографируемых объектов и отображаемых параметров, сходством принятых классификаций, преемственностью методов составления и принципов генерализации. По этим причинам эти карты являются надежными и легитимными метрическими документами при изучении долговременной динамики географической среды и количественной оценке трансформации природных ландшафтов.

В целях непрерывного слежения за параметрами хозяйственного освоения бассейна оз. Байкал и негативными последствиями природопользования в БИП СО РАН разработана и внедрена геоинформационная система мониторинга природопользования (ГИСМП) на основе пакета ArcGIS. ГИСМП представляет собой программно-управляемый комплекс периодической картографической регистрации объектов и процессов природопользования, позволяющий в интерактивном режиме оценивать и прогнозировать долговременную динамику хозяйственного использования территории и изменения природной среды региона. Информационной основой ГИСМП является совокупность разновременных баз картографических растровых и векторных данных. Первый временной срез в ГИСМП представлен листами топографической карты, созданной Корпусом военных топографов в 1896-1914 гг. в масштабе 2 версты в 1 дюйме (1:84000), в поперечно-цилиндрической проекции Гаусса (Постников, 1985). Для оценки пригодности ретроспективных карт как документов мониторинга выполнен анализ их достоверности и полноты содержания совместно с изучением географической литературы, дополнительных картографических материалов и статистических источников начала XX в. Для определения точности и принципов генерализации осуществлен сравнительный анализ ретроспективной карты и современной, сходной по назначению. На основании анализа можно сделать вывод, что оцениваемые карты являются высокоинформативными источниками и подробно отображают физико-географическое состояние и систему природопользования территории в начале XX в. Они являются важной метрической базой для мониторинга динамики географической среды Байкальского региона, поскольку представляют результат первой геодезической съемки отображаемой части России. Значительный объем содержательной информации этих карт позволяет использовать их при изучении долговременных природных (опустынивание, заболачивание и др.) и социально-экономических (добыча полезных ископаемых, миграция населения и др.) процессов. Кроме того, они фиксируют состояние земной поверхности в период строительства и ввода в эксплуатацию Транссиба и являются основным материалом при исследованиях воздействия магистрали на географическую среду региона. В результате

оценки точности установлено, что основной проблемой при использовании ретроспективных карт в качестве документов мониторинга является наличие искажений топографической основы, минимизация которых осуществляется с помощью геометрических операций программной среды.

В процессе автоматизации ретроспективных карт осуществляется послойная векторизация элементов содержания и создание таблиц атрибутов слоев, которые формируются автоматически при экспорте в среду ArcGIS (табл.). В результате создаются геоинформационные ресурсы мониторинга природопользования, регистрирующие физико-географические параметры объектов природопользования в начале XX в. и представляющие совокупность векторных слоев (shp-файлы) и однозначных таблиц атрибутов (dbf-таблицы), размещенных в среде ArcGIS. Информационная структура базы данных ресурсов разработана на основе элементов содержания топографических карт: гидрография; населенные пункты; дорожная сеть; растительность; грунты; промышленные, сельскохозяйственные и социальные объекты; рельеф. Ресурсы имеют математическую основу, классификации элементов содержания и точность, аналогичные параметрам современных геоизображений, и могут быть использованы при реализации всех аналитических операций программной среды. Для отображения современного временного среза использованы листы топографической карты масштаба 1:100 000 издания 1998 г. (Роскартография). Совмещение разновременных векторных слоев объектов природопользования осуществлено посредством операций программной среды.

### Обсуждение результатов

Исследуемая территория представляет собой центральную, наиболее освоенную, часть бассейна оз. Байкал, находится в зоне лесостепи, где на региональном пространстве соединяются таежный и степной типы растительности. Рельеф среднерасчлененный с преобладающими высотами 600-1000 м над уровнем моря. Около 60% общей площади занимают склоновые ландшафты (Михеев, Ряшин, 1977). Доминирующими являются каштановые почвы, покрывающие значительные площади межгорных котловин и имеющие наиболее легкий механический состав. Свыше 80% их площади представлены легкими суглинками и супесями, которые в значительной степени подвержены эоловой дефляции с формированием пыльных бурь в условиях семиаридного климата. Распаханные земли становятся ареной развития дефляции почв и пространственной основой возникновения локальных ареалов деградации природных ландшафтов (Субрегиональная программа ..., 2000).

Анализ карты-реконструкции исследуемой территории до присоединения Забайкалья к Российскому государству позволяет сказать, что ландшафты исследуемой части бассейна подвергались внешнему воздействию главным образом при пастьбе скота, так как земледелие у коренного населения имело незначительное распространение, к тому же оно концентрировалось в пределах локальных увлажненных местностей. Распашка земель проводилась в урочищах, для которых возможное проявление эрозионных процессов было нехарактерным. Доказательством этому служит сохраняющаяся в течение столетий пахотная форма землепользования вблизи старинных сел. С входом забайкальских земель в общее число российских (XVII в.) сюда начали направляться партии крестьян-земледельцев. Трансформация природных ландшафтов начиналась с выбора места под пашню, что в дальнейшем и определяло развитие селитбы и дорожной сети. В основном пашни выбирались на свободных землях, вблизи рек и ручьев. Переселенцы, селившиеся в лесостепной полосе, подыскивали поляны, чтобы уменьшить необходимость расчистки леса.

**Таблица.** Методика автоматизации ретроспективных карт при мониторинге природопользования.  
**Table.** The technique of automating retrospective maps for monitoring of nature management.

Этапы мониторинга	Операции мониторинга
Редакционно-подготовительные работы	Оценка картографических материалов, разработка редакционных указаний
Формализация листов ретроспективных карт	Сканирование листов, создание растровых покрытий по параметрам исходной картографической проекции, векторизация элементов содержания (EasyTrace).
Создание ретроспективных объектных слоев	Экспорт векторных слоев в среду ArcGIS, склейка объектных слоев, редактирование слоев, создание топологии
Геометрическая коррекция ретроспективных объектных слоев	Проецирование современной топоосновы по параметрам исходной картографической проекции, создание сети регистрационных точек, координатная трансформация ретроспективных слоев по сети регистрационных точек, оценка точности преобразования, редактирование слоев с помощью алгоритма «резиновый лист», обновление топологии ретроспективных слоев
Наполнение таблиц атрибутов ретроспективных слоев	Разработка системы классификации и кодирования объектов природопользования, ввод атрибутивных данных по слоям
Создание объектных слоев динамики	Совмещение ретроспективных и современных векторных слоев по необходимым временным срезам, устранение осколочных полигонов, обновление топологии, редактирование таблиц атрибутов
Геоинформационное картографирование динамики природопользования	Создание ГИС-проекта, составление карт динамики природопользования, пространственная оценка динамики, ранжирование территории по степени динамики
Геоинформационное моделирование динамики природопользования	Пространственное моделирование динамики (геометрическое, проекционное, масштабное, сетевой анализ, буферизация), субстанциональное моделирование динамики (математическое, семиотическое), моделирование посредством запросов
Представление результатов мониторинга	Инвентаризационные карты динамики объектов природопользования, синтетические карты взаимосвязей динамики объектов природопользования, аналитические карты зонирования и районирования территории во взаимосвязи с экологическими последствиями динамики природопользования, прогнозные карты сценариев развития природопользования, системы запросов динамики природопользования, графические и табличные материалы

Первые пашни появились около Удинского острога (г. Улан-Удэ) в конце XVII в., позже несколько рассредоточенных центров распашки появились вверх по Селенге до г. Селенгинска. Наиболее освоенными районами были долины рек Чикой и Хилок.

На основании анализа карты-реконструкции природопользования исследуемой территории в конце XIX в. можно сделать вывод, что структура земельных угодий во многом определялась преобладающим типом почвы. Наиболее ценными являлись пахотные земли, размещаемые на каштановых, черноземных и серых лесных почвах. Они, как правило, располагались в типичных степных и лесостепных котловинных урочищах, к которым относятся пологосклоновые делювиально-пролювиальные степные и равнинные ландшафты. Для исследуемой территории была характерна высокая насыщенность естественными кормовыми угодьями – сенокосами и пастбищами. Сенокосы размещались на аллювиальных и луговых заболоченных почвах. Пастбища были представлены остепненными пространствами, значительные их площади размещались на черноземных, каштановых и аллювиальных почвах. Наиболее качественные сенокосы и пастбища размещались в межгорных котловинах на склоновых землях.

В XX в., особенно во второй его половине, значительно возросли масштабы воздействия природопользования на ландшафты. Земледельческое освоение требовало обширных пространственных ресурсов, что обусловило сведение лесного покрова в межгорных котловинах (рис. 1). На исследуемой территории была изменена структура земельных угодий, значительно увеличилась площадь пашни, причем, за счет распашки легких песчаных и супесчаных почв. Засушливые межгорные котловины оказались объектами изменения характера протекающих в их биоте природных процессов. Изменение естественных процессов в почвенно-грунтовом слое на больших площадях, связанное с распашкой целинных и залежных земель, привело к широкому развитию эрозии. Такие факторы антропогенного воздействия как увеличение плотности населения, более передовые технологические формы обработки земли, увеличение удельного давления на растительность под воздействием роста поголовья скота, палы, обезлесение увеличили негативные эффекты.

Геоинформационный анализ разновременных геоданных показывает, что наибольшие площади были распаханы в период 1958-1972 гг., что привело к трансформации уязвимых пологосклоновых, равнинных и террасовых сухостепных и песчано-супесчаных котловинных урочищ (рис. 2). В целом на исследуемой территории минимальные размеры ареалов пашни за 100 лет увеличились в 5 раз, средние размеры – в 3 раза, максимальные – в 4 раза. Общая площадь пашни увеличилась в 2 раза, а общее количество ареалов сократилось в 1.5 раза, что говорит о значительной дробности пашни в начале века и меньшей уязвимости природных ландшафтов.

Совмещение разновременных слоев распаханности с цифровой моделью рельефа позволило выявить различные тенденции высотной динамики пашни, но в целом можно утверждать, что на исследуемой территории в течение XX в.:

- забрасывались низинные пашни (до 600 м) в ландшафтах днищ котловин с минимальными углами уклона рельефа и высоким уровнем грунтовых вод;
- незначительно увеличилась площадь пашни самого распаханного высотного пояса (от 600 до 800 м) на склоновых ландшафтах;
- значительно увеличилась площадь пашни на высоких открытых поверхностях и в урочищах с большим уклоном рельефа (выше 800 м).

Кроме того, динамика пашни по рельефу сопровождается активным развитием дорожной сети, которая в результате несоответствия ориентировки ландшафтными условиям и при больших углах уклона приводит к интенсивной линейной эрозии.

Участки ветровой эрозии появились почти одновременно с подъемом целины, но активизация эрозионных процессов началась после 1980 г. Сейчас такие ареалы являются

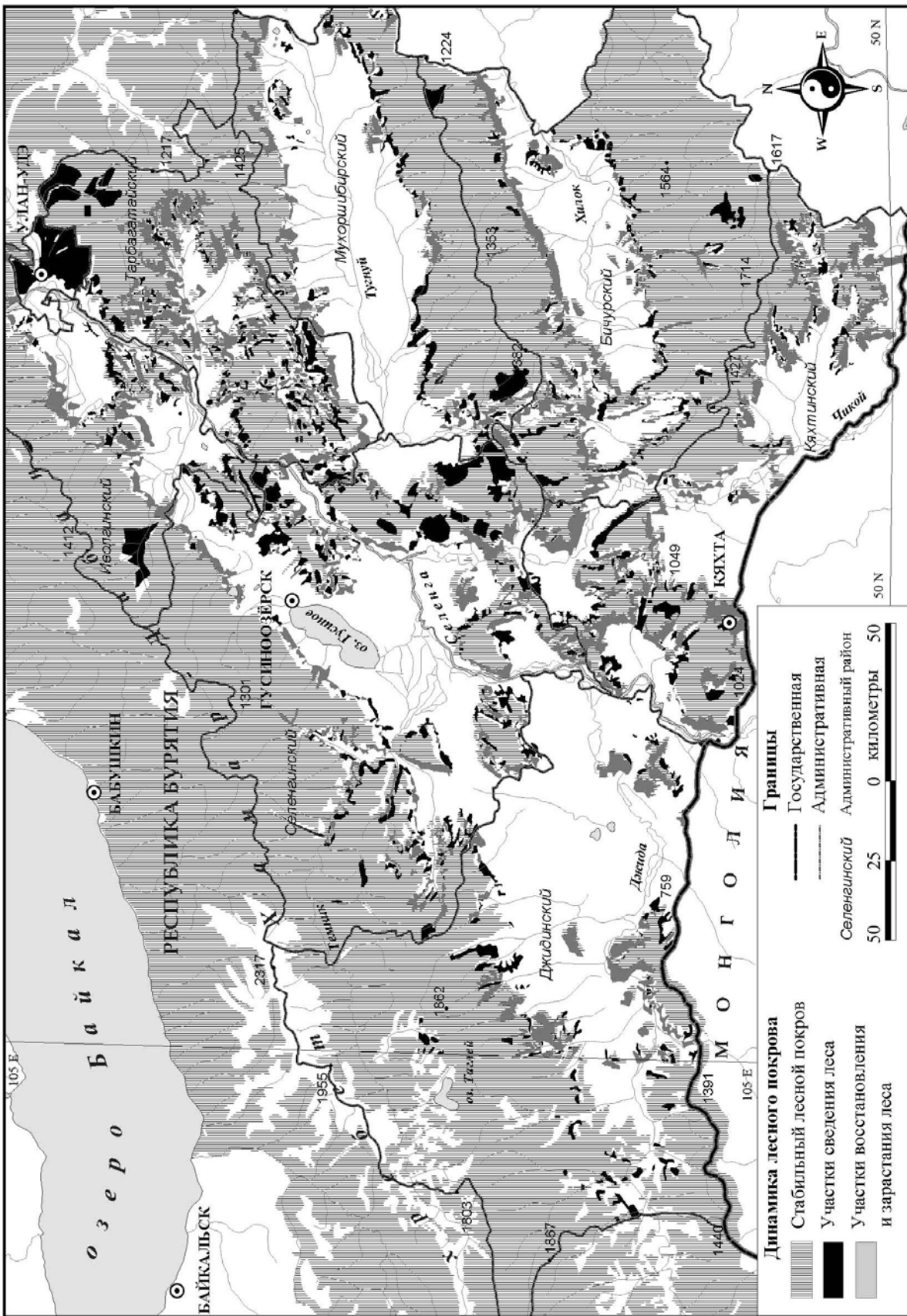


Рис. 1. Динамика лесного покрова в XX в. Fig. 1. Dynamics of forest cover in the XX century.

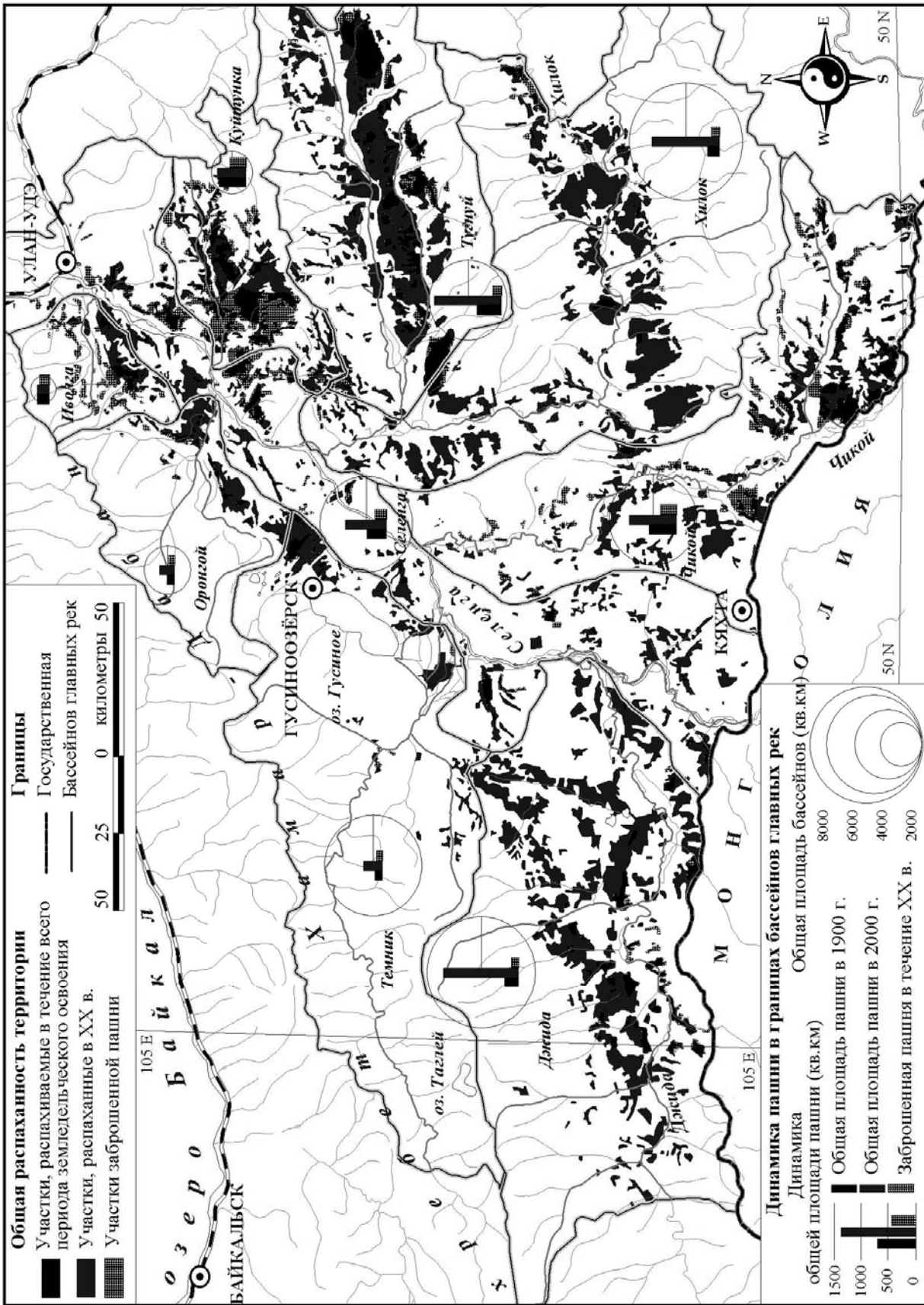


Рис. 2. Динамика пашни в XX в. Fig. 2. Dynamics of arable land in the XX century.

характерной особенностью засушливых местностей днищ межгорных котловин на рыхлых отложениях, не защищенных естественными или искусственными способами. На большей части исследуемой территории на степных и сухостепных ландшафтах участки проявления эрозионных процессов особенно характерны для пашни. В крайней форме деградации это приводит к появлению движущихся песков, что оказывает неблагоприятное воздействие на прилегающие природные комплексы. Наиболее значительно ареалы таких земель увеличились на сельскохозяйственных угодьях Мухоршибирского (более чем на 40%) и Бичурского (более чем на 30%) районов.

Наряду с ветровой эрозией до 25-35% деструкционных процессов занимает водная, которая развивается большей частью на горных участках лесостепных и частью – степных ландшафтов, где выпадает достаточное количество атмосферных осадков. В таких местах почвенный покров, лишенный естественной защиты, под влиянием временных водотоков, часто ливневого характера, интенсивно разрушается. Главным проявлением водной эрозии являются овраги. Лесостепные территории охвачены овражной эрозией в меньшей степени, хотя количество осадков здесь относительно высоко. Это объясняется сохранившимися участками леса, которые способствуют гашению гидродинамической энергии водного потока. Наиболее интенсивно эрозионные процессы проявляются в лесостепных ландшафтах на пашнях, сформированных на лессовидных породах легкого гранулометрического состава. Было установлено, что при всех равных условиях величина физических параметров оврагов прямо пропорционально зависит от периода распашки, времени забрасывания участка и уклона рельефа. Собственно распашка оказывает отрицательное влияние на природные ландшафты района исследования не только потому, что вызывает механическое преобразование земной поверхности, но преимущественно в результате поверхностной эрозии почв, которую вызывают ветер и вода.

Совмещение разновременных слоев динамики пашни и современной эродированности сельскохозяйственных угодий позволило выявить и пространственно зафиксировать ареалы концентрации участков деградации природных ландшафтов (рис. 3). Такие участки наблюдаются в хозяйствах, близко расположенных к р. Селенге, а также на давно распахиваемой территории и в хозяйствах, имеющих значительные площади пашни. Формирование участков деградации земной поверхности обусловлено совпадением пика ветрового режима с наиболее засушливым периодом (апрель-май-июнь), а также низкой степенью лесистости исследуемой территории. Наиболее тесная связь между динамикой пашни и активизацией сопровождающих ее эрозионных процессов проявляется в южных районах исследуемой территории, особенно в Джидинском, ландшафты которого подверглись распашке только в XX в.

Полевая регистрация участков деградации природных ландшафтов посредством приемников глобального позиционирования позволила выявить региональные особенности и определить пространственно-временные инварианты их динамики, а также выполнить метрическую оценку параметров эрозионных процессов. Было установлено, что такие участки представляют собой полигональные объекты площадью 150-200 м<sup>2</sup> с центробежной динамикой и сезонным характером развития. В совокупности они образуют, как правило, ареалы поверхностного смыва общей площадью 3-5 км<sup>2</sup>. В результате полевых обследований участков деградации природных ландшафтов следует сделать вывод, что на оцениваемой территории наиболее существенно эрозия проявляется в весенний период на равнинных участках, лишенных древесных насаждений, на пашнях в нижней части долин рек. Были выявлены и обследованы участки с совместным проявлением различных стадий развития линейной эрозии. Установлено, что на боковых долинах бассейнов крупных рек опасность эрозии в большей степени определяется площадью открытого пространства, нежели уклоном



рельефа и типом почв. В районе исследования эрозия встречается не только на обрабатываемых пашнях, но и на залежных землях, где она проявляется с большей интенсивностью, так как здесь эрозионные проявления не удаляются посредством вспахивания.

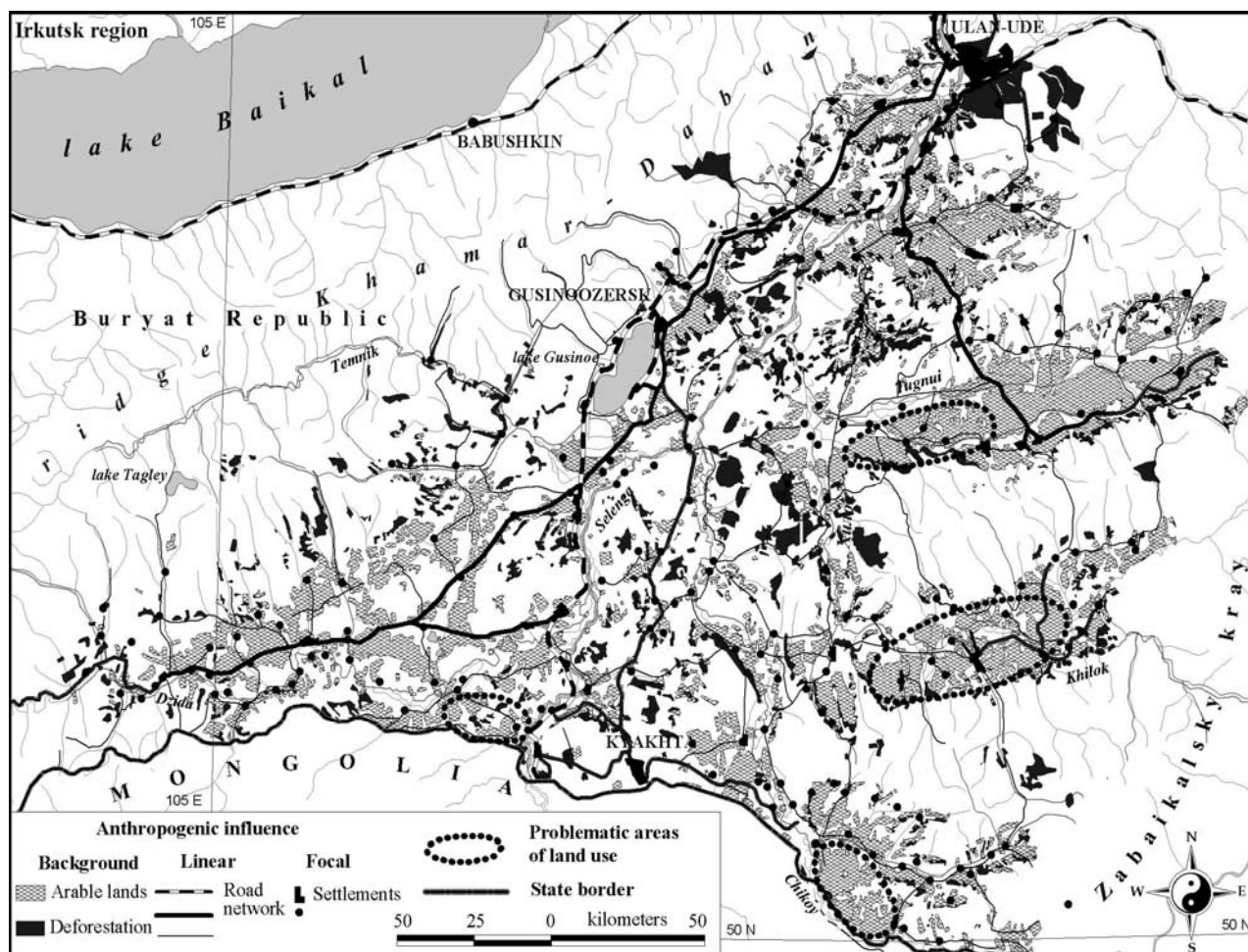


Рис. 3. Антропогенное преобразование земной поверхности. Fig. 3. Anthropogenic land conversion.

В целом сезонная активизация эрозионных процессов на таких участках наблюдается почти во всех хозяйствах исследуемой территории и в зависимости от местоположения имеет различную степень интенсивности, причем, основное влияние здесь оказывает пространственное положение хозяйства и тип занимаемого ландшафта. Природные таксоны – типы ландшафтов и урочища, как правило, не совпадают с хозяйственными единицами. В одном ландшафте могут соседствовать несколько хозяйств, так же как в одном хозяйстве могут занимать смежное положение несколько урочищ.

Изменения в структуре категорий земельного фонда на исследуемой части бассейна оз. Байкал за последнее время характеризуются уменьшением земель сельскохозяйственного назначения, промышленности, лесного фонда при увеличении земель особо охраняемых территорий, городских, поселковых и сельских органов власти, а также земель запаса. В последнее время в целом по всей исследуемой территории прослеживается уменьшение площадей пахотных земель и увеличение залежей, что можно оценивать как тенденцию

перехода от преобразовательной динамики природных ландшафтов к восстановительной.

### Выводы

В настоящее время доступность ГИС-программ и удобство их интерфейсов, развитие телекоммуникационных картографических сервисов и приложений, техническое переоснащение всех процедур пространственных изысканий способствуют тому, что все большая часть исследований в науках о Земле реализуется на базе микропроцессорной техники, а геоинформационный мониторинг становится важнейшим исследовательским приемом при познании мира.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Михеев В.С., Ряшин В.А. 1977. Ландшафты юга Восточной Сибири (карта, М 1:1 500 000). М.: ГУГК. 4 л.
- Постников А.В. 1985. Развитие картографии и вопросы использования старых карт. М.: Наука. 224 с.
- Субрегиональная программа действий по борьбе с опустыниванием для Республики Бурятия, Агинского Бурятского АО и Читинской области. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2000. 135 с.

## **GEOINFORMATIONAL SUPPORT FOR MONITORING TRANSFORMATION OF NATURAL LANDSCAPES IN BASIN LAKE BAIKAL BASED ON RETROSPECTIVE CARTOGRAPHIC MATERIALS**

© 2011. A.N. Beshentsev

*Baikal institute of nature management Siberian branch of Russian Academy of Sciences  
Russia, 670047 Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6. E-mail: abesh@binm.bsnet.ru*

Presents the results of the use of retrospective maps in the study of nature use and dynamics of the geographical environment in the basin of Lake Baikal in the XX century. Defined spatial and temporal parameters of the dynamics of forests and plowing into the territory of the XX century. Completed metric estimation of transformation of natural landscapes and identified areas of their degradation.

*Keywords:* retrospective maps, dynamic of the geographical environment, land use, transformation of natural landscapes, GIS-monitoring.