

В.С. Крыщенко, О.М. Голозубов, И.А. Сахабиев, Ю.А. Литвинов

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ ЗАИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО СОРТОИСПЫТАТЕЛЬНОГО УЧАСТКА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

На основе почвенно-агрохимических очерков, почвенных карт и картограмм содержания элементов питания реализован ГИС-проект почвенного покрова и картограмм содержания элементов питания Заинского государственного сортоиспытательного участка Республики Татарстан. Построение аппроксимирующих интерполяционных поверхностей по данным разных лет с использованием геостатистического подхода выявило достаточно четкие изменения в содержании элементов питания за десятилетний период интенсивного сельскохозяйственного использования.

**Ключевые слова:** архивные материалы; геоинформационные технологии; интерполяционные поверхности.

В 2010 г. Правительством Российской Федерации была одобрена Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения на период с 2010 по 2020 г. Мониторинг осуществляется с использованием современных информационных технологий. Подобные систематические исследования почвенного покрова невозможны без картографической основы материалов почвенных обследований: почвенных карт, агрохимических картограмм и картограмм эрозионных земель, той базы, на которой должны строиться мероприятия по кадастровой оценке и мониторингу земель сельскохозяйственного назначения.

Большая часть почвенных карт устарела, требует корректировки или повторного почвенного обследования территории. Такое положение дел вызвано следующими причинами:

- 1) материалы составлены более 15 лет назад;
- 2) границы обследования не совпадают с современными границами землепользования;
- 3) отсутствуют надлежащие приложения к почвенным картам – очерки и картограммы;
- 4) информация, которая находилась на бумажных носителях, частично или полностью утеряна вследствие неправильного хранения материалов;
- 6) доступ к материалам закрыт.

Восстановление фондовых материалов посредством их векторизации и создания цифровых почвенных карт, формирование информационных ресурсов, которые аккумулировали бы картографическую и субстантивную информацию о почвенном покрове, является важной задачей качественного управления почвенными ресурсами.

**Материалы и методы исследования.** Объектом проведения мониторинга послужил Заинский государственный сортоиспытательный участок (ГСУ) Республики Татарстан. Заинский ГСУ расположен на территории Восточного Закамья Республики Татарстан. Он относится к суббореальной северной семигумидной ландшафтной зоне, типичной и южной лесостепной ландшафтной подзоне, Черемшан-Икскому ландшафтному возвышенному району с приволжскими липово-дубовыми лесами и закамско-заволжскими в сочетании с липово-дубовыми и липовыми лесами на выщелоченных оподзоленных черноземах и серых лесных почвах.

Заинский ГСУ образован в 1939 г. Общая площадь на 1987 г. составляла 87,5 га, 76,64 га пашни в том чис-

ле. Для изучения применения ГИС-технологий в целях мониторинга элементов питания были взяты данные с 1977 по 1987 г.

Преобладающим почвенным типом на территории Восточного Закамья является чернозем (43,5%), преобладающим подтипом – чернозем выщелоченный (40,2%).

Территория ГСУ представлена следующими разновидностями почв (по очерку 1987 г.):

1. Чернозем выщелоченный среднетяжелый среднегумусный глинистый на делювиальных желто-бурых карбонатных глинах (57,07 га).
2. Чернозем выщелоченный среднетяжелый среднегумусный глинистый слабогалечниковатый на делювиальных карбонатных глинах, подстилаемых древнеаллювиальными отложениями (15,5 га).
3. Чернозем выщелоченный среднетяжелый мало-тяжелый глинистый среднещелочистый среднегалечниковый (2,88 га).
4. Чернозем выщелоченный среднетяжелый мало-тяжелый глинистый слабощелочистый среднегалечниковый (1,14 га).

В основу создания цифровой почвенной карты исследуемой территории легла методика формирования цифровых почвенных карт, разработанная на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону).

Методика позволяет на основе материалов почвенных обследований – почвенных карт, данных очерков, картограмм, землеустроительных планов и кадастровых карт – формировать и корректировать цифровые почвенные карты для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земельного кадастра.

Следует отметить ряд ее особенностей:

- 1) восстановление и оцифровка фондовых материалов почвенных обследований;
- 2) использование условно бесплатных программ для редактирования растровых изображений почвенных карт, кадастровой карты и космических снимков (графический редактор GIMP) и географической привязки на местности (программа Google Earth);
- 3) работа с материалами дистанционного зондирования Земли, находящимися в открытом доступе (космические снимки – Google Earth);
- 4) векторизация почвенных карт с помощью программы Soil Contour, программы-векторизатора, разработанной на базе кафедры почвоведения и оценки зе-

мельных ресурсов ЮФУ. Особенностью векторизации является возможность корректирования почвенных контуров относительно современных космических снимков и кадастровой карты;

5) использование пакета программ ArcGIS 9.3 для визуализации векторизованных материалов и геостатистического анализа.

Этапы формирования цифровой почвенной карты:

1. *Подготовка картографических материалов.* Почвенные карты и соответствующие приложения к ним (очерки почвенного обследования, агрохимические картограммы и картограммы эродированных земель) могут находиться в плохом состоянии или же часть материалов может вовсе отсутствовать. Поэтому крайне важно провести тщательный анализ содержимого, как карты, так и отчета почвенного обследования, на предмет отсутствия данных. Почвенные карты сканируются и сохраняются в формате JPEG. Полученные таким образом изображения проходят простейшую обработку в графическом редакторе, в частности в редакторе GIMP. Редактирование представляет собой подготовку почвенной карты к привязке ее на местности, а именно «сшивку» отдельных отсканированных листов почвенной карты в единое целое, кадрирование, изменение яркости, контрастности и размеров изображения.

Материалы дистанционного зондирования – космические снимки – могут быть получены из любых доступных источников, например программы Google Earth. Кадастровые карты берутся из открытого источника – публичной карты Росреестра. Данные космического снимка и кадастровой карты также проходят обработку в графическом редакторе.

2. *Географическая привязка.* Привязка карты на местности производится в программе Google Earth с последующим сохранением пространственных данных в стандарте kml 2.2. Процесс привязки заключается в наложении изображения почвенной карты на космический снимок в программе Google Earth таким образом, чтобы элементы почвенной карты совпадали с элементами рельефа на снимке. Достичь полного совпадения двух изображений практически невозможно, поскольку почвенная карта является в большей степени схемой, на которой отображается лишь взаимное расположение почвенных контуров на местности. Ко всему прочему почвенная карта зачастую серьезно деформирована из-за неправильных условий хранения. Подобные искажения не всегда возможно исправить, даже средствами современных графических редакторов.

3. *Составление списков – классификаторов.* Работа с атрибутивной информацией включает подробное изучение отчетов почвенных исследований, условных обозначений и легенды почвенной карты. В ходе анализа изучаются почвенный покров хозяйства, особенности рельефа, данные сводных таблиц гранулометрического состава, химических, физических и морфологических свойств почв. Данные почвенных контуров сравниваются с почвенными контурами на карте, выявляются недочеты, связанные как с ошибками составления карты, так и с деформациями, возникшими при хранении материалов (плохо видны условные обозначения, порядковый номер или шифр почвенного контура). Почвенные контуры карты дробятся на отдельные

таксономические единицы согласно классификации почв 1977 г. Выбор за основу составления списков-классификаторов почвенной классификации 1977 г. связан с тем, что существующие картографические материалы по почвенным обследованиям составлены в этой классификации почв.

Помимо классификационных единиц, приведенных в рамках классификации 1977 г., в легенде почвенных карт присутствует ряд почв, которым даны местные названия, в дальнейшем их необходимо привести к общей классификации в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв СССР».

Атрибутивные данные группируют в виде таблиц MS Excel и MS Access таким образом, чтобы получить исчерпывающий перечень всех классификационных единиц, без повторений. Таким образом, формируется список атрибутивных данных, готовый к внесению в программу Soil\_Countur.

4. *Векторизация почвенной карты в среде программы Soil\_Countur.* Процесс векторизации представляет собой выделение пространственных данных посредством создания векторного слоя из полигонов (почвенные контуры и земельные участки хозяйств) и точек (почвенные разрезы, объединенные почвенные пробы) на слоях растровых изображений почвенной карты и спутникового снимка. Использование программы SoilContour позволило решить задачи векторизации объектов, а также внесения атрибутивной информации, связанной с элементами топологии. Входными данными для программы являются растровые изображения почвенной карты и спутникового снимка. Векторизация почвенных карт производится в стандарте представления пространственной информации kml 2.2, который является расширением языка разметки xml. Стандарт kml 2.2 поддерживается большинством современных ГИС.

В программе SoilContour также заложена функция управления прозрачностью слоев растровых изображений, что дает возможность корректировать векторизацию почвенной карты, опираясь на более современные данные спутникового снимка.

5. *Внесение атрибутивной информации происходит посредством выпадающих списков, заложенных в программе Soil\_Countur.* Результатом работы программы Soil\_Countur являются пространственные и атрибутивные данные, представленные в файле формата kml. В дальнейшем они могут быть просмотрены и отредактированы текстовым редактором XML Notepad.

6. *Импорт данных в программу ArcMap 9.3* является завершающим шагом подготовительного этапа. Файл в формате kml, сформированный в процессе векторизации с помощью функции программы Soil\_Countur – «экспорт карты в ArcGIS», сохраняется как файл импорта в среду ArcGIS. В программу ArcMap файл импортируется с помощью инструмента конвертации «Quick Import» [1. С. 22–50].

**Результаты исследования и обсуждение.** На основе материалов почвенно-агрохимических очерков, почвенных карт и картограмм содержания элементов питания осуществлена работа в среде ГИС приложений, реализован ГИС-проект почвенного покрова и картограмм содержания элементов питания Заинского ГСУ РТ.

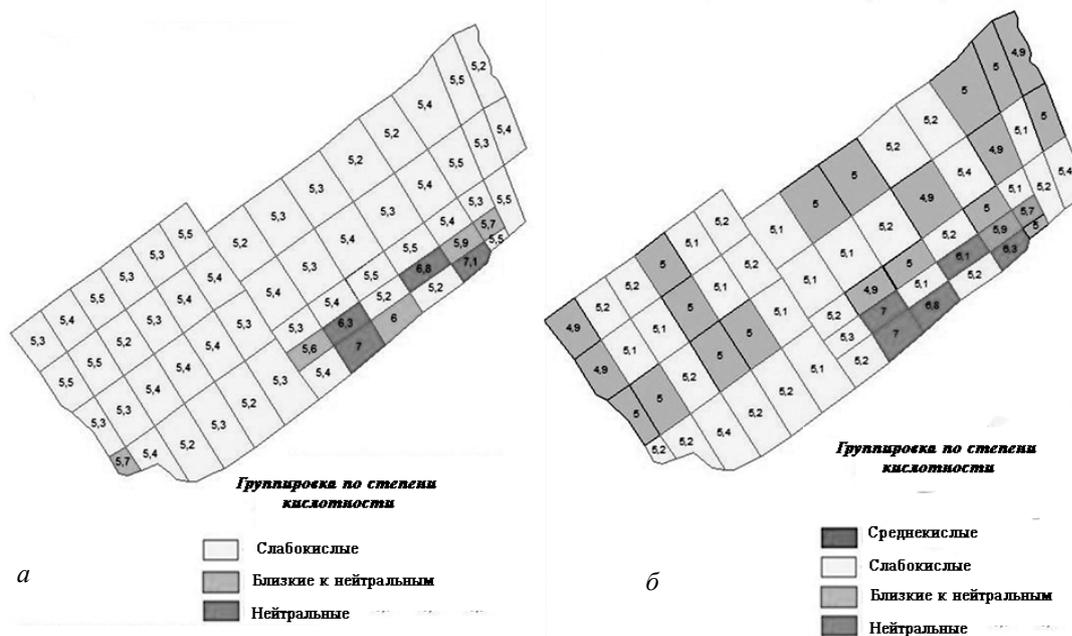


Рис. 1. Тематические картограммы значений pH солевой вытяжки почв Заинского ГСУ без использования методов интерполяции: а – по данным 1981 г.; б – по данным 1987 г.

Работа проводилась в среде программ Gimp, Google Earth, XML Notepad, Soil Countur, MS Access, ArcMap, ArcReader. На основе этих программ проводилось предварительное редактирование изображений, географическая привязка изображений на местность, создание списка классификаторов, векторизация данных, внесение атрибутивной информации, редактирование файлов. После предварительного этапа работы в программе ArcMap 9.3 по данным разных лет обследования почв Заинского ГСУ были построены тематические картограммы содержания гумуса, легкогидролизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия, pH солевой вытяжки. Наряду с этим была произведена оценка построенных цифровых моделей местности с применением методов интерполяции и геостатистики. Тематические картограммы содержания элементов питания, построенные без использования интерполяционных методов, для целей мониторинга показателей почвенного плодородия в целом не могут быть пригодны, так как они наименее информативны и несут в себе дискретность значений свойств почв. Такие картограммы обладают свойством статичности признака в рамках элементарного участка опробования (см. рис. 1) [2. С. 50–62].

Построение аппроксимирующих интерполяционных поверхностей по данным разных лет с использованием геостатистического подхода показало достаточно четкие изменения в содержании элементов питания за десятилетний период интенсивного сельскохозяйственного использования.

Интерполяционные поверхности были построены методом универсального кригинга с учетом глобальных трендов. Выбор в качестве интерполятора метода универсального кригинга основан на том, что он позволяет аппроксимировать данные при наличии простых трендов, описываемых полиномами первого и второго порядка [3. С. 82–90].

Значения показателей плодородия почв исследуемого участка имеют глобальные тренды в направлении запад – восток и север – юг.

Скорее всего, это связано с тем, что участок расположен на склоновой поверхности и имеет разброс высот порядка 10 м. Глобальные тренды показывают, что содержание подвижных форм калия, фосфора, легкогидролизуемого азота, pH солевой вытяжки изменилось с 1977 по 1987 г., но во всех случаях присутствуют тренды разного уровня.

В 1977 г. по содержанию подвижного калия выделялся тренд в направлении с запада на восток, который описывается линейной функцией. Тренд в направлении с севера на юг также близок к линейной функции. К 1987 г. тренды содержания калия в направлении запад – восток и север – юг нивелируются, что говорит о выравнивании участка в отношении обеспеченности подвижными формами калия.

Тренды содержания подвижных форм фосфора в 1977 и 1987 гг. в направлении запад – восток практически отсутствуют, однако в направлении север – юг в 1977 г. присутствует незначительный тренд, описываемый полиномом второго порядка. К 1987 г. тренд в этом направлении изменяется на линейный. Легкогидролизуемый азот в 1977 г. имеет ярко выраженные тренды в направлении запад – восток и север – юг. В направлении запад – восток тренд аппроксимируется линейной функцией, в направлении север – юг – полиномом второго порядка.

В 1987 г. картина меняется: в направлении запад – восток распределение описывается параболической функцией, в направлении север – юг тренд имеет линейное распределение. В 1977 и 1987 гг. распределение содержания легкогидролизуемого азота обратно пропорционально высотам участка, минимальное содержание азота наблюдается в самом возвышенном северо-восточном углу участка. Это означает, что легко-

гидролизующие формы азота мигрируют вниз по склону. Значения рН солевой вытяжки в 1977 г. в направлениях запад – восток и север – юг имеют незначительные тренды, которыми можно пренебречь. В 1987 г. рН солевой вытяжки в направлении запад – восток имеет четко выраженный тренд, описываемый полиномом второго порядка, в направлении север – юг значения рН аппроксимируются линейной функцией.

С учетом глобальных трендов в содержании элементов питания были построены интерполяционные поверхности для каждого показателя почвенного плодородия.

Метод кригинга требует, чтобы данные подчинялись закону нормального распределения. Проверка на нормальность была произведена в программе BioStat. Результаты проверки показали, что все данные, кроме подвижного фосфора 1987 г. обследования, подчиняются закону нормального распределения по критерию Колмогорова – Смирнова / Лиллифорса (в каждом случае число выборки равно 60 значений).

Значения содержания подвижного фосфора были приведены к нормальному распределению путем трансформации Бокса – Кокса ( $\lambda = -2$ ).

Интерполяционные поверхности были построены на основе сферических моделей как наиболее распространенных. Для анализа влияния трендов на построенные интерполяционные модели было произведено

сравнение моделей, построенных с наличием трендов с моделями остатков трендов. В большинстве случаев модели, в которых присутствовали тренды, более корректно описывали распределение элементов питания по поверхности. По сравнению с моделями остатков, их среднеквадратичные ошибки были меньше, среднеквадратичные нормированные ошибки приближались к единице, средняя ошибка стремилась к нулю.

Лишь значения легкогидролизующего (1977 г.) и подвижного калия (1987 г.) были интерполированы с учетом трендов. При интерполяции придерживались принятой группировки почв по содержанию элементов питания и кислотности почв [4. С. 188]. В случаях, когда это оказывалось невозможным, применяли группировку на равные интервальные значения или группировку по квантилям.

В целом к 1987 г. наблюдается ухудшение калийного и фосфорного состояния участка, присутствует сильное зафосфачивание пахотных горизонтов. По содержанию азота легкогидролизующего наблюдается обратная картина: в 1977 г. содержание легкогидролизующего азота было заметно выше по сравнению с 1987 г.

По значениям рН солевой вытяжки значения практически идентичны, в 1987 г. реакция среды пахотных горизонтов почв слабокислая или близка к нейтральной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крыщенко В.С., Татаринцева О.П., Голозубов О.М., Литвинов Ю.А. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Базы данных почв» и «ГИС технологии». Ростов н/Д: Изд-во Южного Федерального ун-та, 2010. С. 20–45.
2. ArcGIS 9 Geostatistical Analyst. Руководство пользователя. 2001. 278 с.
3. Каневский М.Ф., Демьянов В.В., Савельева Е.А. и др. Элементарное введение в геостатистику. Сер. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ, 1999. № 11. 350 с.
4. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л.М. Державина, Д.С. Булгакова. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 27 сентября 2012 г.